



En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug Systemanalyseafdelingen. Energisystemgruppen

Møller Andersen, Frits; Kilde, N. A.; Morthorst, Poul Erik; Nielsen, Lars Henrik; Schmaltz-Jørgensen, J.

Publication date:
1986

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Møller Andersen, F., Kilde, N. A., Morthorst, P. E., Nielsen, L. H., & Schmaltz-Jørgensen, J. (1986). *En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug: Systemanalyseafdelingen. Energisystemgruppen*. Forskningscenter Risø. Risø-M No. 2606

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

RISØ-M-2606

EN TEKNISK-ØKONOMISK PROGNOSEMODEL
FOR INDUSTRIENS ENERGIFORBRUG

Systemanalyseafdelingen
Energisystemgruppen

Abstract. I denne rapport præsenteres en model for industriens energiforbrug. Kort kan denne model karakteriseres som en økonometrisk sub-model, der konverterer prognoser for den økonomiske udvikling og udviklingen i energipriserne til prognoser for industriens energiforbrug. Industrien er i modellen opdelt i 14 brancher, og energiforbruget er splittet op på 4 energityper.

Modellen er opstillet og estimeret på grundlag af data for perioden 1966 til 1980. Udviklingen i denne periode er analyseret på et forholdsvis disaggregeret brancheniveau. For at forklare udviklingen i industriens energiforbrug er inddraget både tekniske og økonomiske faktorer. De væsentligste økonomiske faktorer er ændringer i produktionsmængden, de reale energipriser, beskæftigelsen og investeringerne. Af væsentlige tekniske faktorer kan nævnes introduktionen af nye produktionsprocesser samt opstart og lukning af specifikke produktioner.

Juli 1986

Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark

ISBN 87-550-1264-7

ISSN 0418-6435

Grafisk Service, Risø 1986

2. optryk, 1987

INDHOLD

| | Side |
|--|------|
| FORORD | 5 |
| 1. INDLEDNING | 7 |
| 2. MODELLENS OPDELING PÅ BRANCHER OG ENERGITYPER | 9 |
| 2.1. Modellens brancher | 10 |
| 2.2. Energiforbrugets opdeling på typer | 18 |
| 3. BESKRIVELSE AF INDUSTRIENS PRODUKTIONSPROCESSER OG ENERGIFORBRUG | 20 |
| 3.1. Den generelle udvikling i energiforbruget | 20 |
| 3.2. Energiforbruget opsplittet på brancher | 21 |
| 3.3. Branchebeskrivelser | 23 |
| 4. MODELLEN | 89 |
| 4.1. Indledning | 89 |
| 4.2. Split-modellen | 90 |
| 4.3. Alternative specifikationer af energimodellens relationer | 95 |
| 4.4. Estimationsresultater | 112 |
| 5. TEST OG ANVENDELSE AF MODELLEN | 136 |
| 5.1. Indledning | 136 |
| 5.2. En analyse af modellens forklaringsevne | 136 |
| 5.3. Elasticitetsanalyser og effekter af struktur- ændringer | 143 |
| 5.4. En fremskrivning af modellen | 146 |
| APPENDIX | 152 |

FORORD

Formålet med nærværende projekt har været at udvikle en prognosemodel for industriens energiforbrug samt at belyse den tekniske og økonomiske udvikling af betydning for udviklingen i industriens energiforbrug. Projektet er iværksat med støtte fra Energiministeriet og er gennemført i perioden januar 1984 til juli 1986.

Projektet er udført af en projektgruppe bestående af medarbejdere fra Energisystemgruppen ved Forskningscenter Risø. Projektgruppen har haft følgende sammensætning:

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| Cand.oecon. | Frits Møller Andersen (projektleder) |
| Civilingeniør | Niels A. Kilde |
| Cand.oecon. | Poul Erik Morthorst |
| Cand.scient. | Lars Henrik Nielsen |
| Cand.polit. | Ellen Pløger |
| Stud.ing. | Jesper Schmaltz-Jørgensen |

Til at følge projektets udvikling har været nedsat en følgegruppe med repræsentanter fra følgende institutioner:

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Energiministeriet | |
| Energistyrelsen | |
| Danmarks Statistik, | Modelgruppen |
| Danmarks Tekniske Højskole, | Fysisk Lab. III |
| dK-TEKNIK | |

1. INDLEDNING

Baseret på analyser af udviklingen i perioden 1966-80 opstilles i nærværende rapport en prognosemodel for industriens energiforbrug. Grundlæggende bygger denne på, at man ved at analysere den hidtidige udvikling kan kvantificere nogle årsagssammenhænge, der er forholdsvis stabile over tiden, og som derfor kan anvendes til prognoseformål. Analyserne og modellen koncentrerer sig om de sammenhænge, der er imellem industriens energiforbrug og økonomiske og tekniske ændringer. Til at kvantificere sammenhængene anvendes primært økonometriske metoder, men i tilfælde, hvor disse metoder ikke giver rimelige resultater, er sammenhængene kvantificeret ud fra rene tekniske analyser.

Analyseperioden 1966-80 er valgt ud fra et ønske om at anvende konsistente data for hele perioden. Data-grundlaget for analyserne er primært Danmarks Statistiks nationalregnskabsstatistik og energibalancer. Analyseperioden har både fordele og ulemper. En model, der er i stand til at forklare de ganske betydelige ændringer, der i analyseperioden er sket i industriens energiforbrug, må siges at være forholdsvis robust. En ulempe ved perioden er, at der i denne er sket ganske betydelige engangsændringer, som man skal passe på ikke implicit at gentage i en prognose. Analyserne af den tekniske udvikling har været specielt velegnede til at afsløre disse engangsændringer, men også analyserne af den økonomiske udvikling på et forholdsvis detaljeret branche-niveau har været væsentlige for at lokalisere, hvor disse ændringer er sket.

I modelmæssig sammenhæng må den opstillede prognosemodel karakteriseres som en økonometrisk sub- eller konverteringsmodel, der konverterer en prognose for den samfundsmæssige udvikling til en prognose for industriens energiforbrug. Resultatet af en modelkørsel er en prognose for udviklingen i industriens energifor-

brug opdelt på 14 brancher og energityperne: fast, flydende, el og transport brændsel.

Modellens tidshorisont er primært dikteret af tidshorisonten på prognosen for den samfundsmæssige udvikling, men i sin grundstruktur/opbygning er modellen nærmest en mellem-sigts model, hvor prognoser ud over 7 - 10 år må betragtes som konsekvensberegninger under en antagelse om, at adfærdsmønstre ikke ændres radikalt. Det afgørende for modellens tidshorisont og generelle gyldighed er, over hvor lang en periode og under hvor store ændringer det er rimeligt at antage, at forhold som f.eks. produktions- og priselasticiteter er relativt konstante.

Foruden til prognoseformål kan modellen anvendes til følsomhedsanalyser og konsekvensberegninger af alternative produktions- og energiprisudviklinger, strukturændringer o.l. Desuden er der, da modellen er opstillet på grundlag af forholdsvis detaljerede analyser af industriens energiforbrug, skabt mulighed for relativt overkommeligt at vurdere og tage højde for, hvordan specifikke ændringer som f.eks. ændrede produktionsmetoder og specifikke energibesparende foranstaltninger i de enkelte brancher vil påvirke udviklingen i energiforbruget.

De grundlæggende analyser er grupperet efter modellens 14 brancher, men er foretaget på et betydeligt mere detaljeret niveau, og omfatter analyser af både den økonomiske og tekniske udvikling i de enkelte brancher. Resultatet af disse analyser er et sæt branchebeskrivelser, hvor udviklingen i de enkelte branchers energiforbrug i analyseperioden er beskrevet og søgt forklaret. Disse analyser er summarisk beskrevet i kapitel 3.

Med udgangspunkt i branchebeskrivelserne er der for hver af de 14 brancher og 4 energityper opstillet og testet en lang række alternative specifikationer af modellens relationer. De testede alternativer og resultaterne for de enkelte brancher er beskrevet i kapitel 4. Kapitel 4 indeholder også en oversigt over modellens overordnede struktur.

Endelig indeholder kapitel 5 en gennemgang af nogle simulations-eksperimenter, der er anvendt til at teste modellens overordnede egenskaber.

2. MODELLENS OPDELING PÅ BRANCHER OG ENERGITYPER

Indledning

Et væsentligt formål med at opdele industrien og energiforbruget i et antal undergrupper er at kunne arbejde med nogle energimæssigt homogene analyseenheder, hvor udviklingen indenfor den enkelte enhed er rimelig ensartet, mens den vil være forskellig mellem enhederne.

Når der i modellen er valgt at foretage en opdeling på brancher og energityper, skyldes dette primært

- a) at udviklingen i det samlede energiforbrug p.g.a. forskelle i de enkelte branchers energiintensitet i væsentlig grad afhænger af strukturændringer, d.v.s. ændringer i branchernes relative størrelse
- b) at der vil være væsentlige forskelle i energiforbrugets udvikling i de enkelte brancher
- c) at det skal kunne analyseres, hvorvidt en branches energiforbrug er type-specifikt, eller om der er substitutionsmuligheder

samt ikke mindst

- d) data hensyn.

Det valgte aggregeringsniveau på 14 brancher og 4 energityper må ses som et kompromis mellem et ønske om branchespecifikke analyser, overskuelighed og mulighederne for at prognostisere ud-

viklingen i de forklarende variable. En meget disaggregeret opdeling af industrien giver muligheder for meget detaljerede analyser af branchespecifikke forhold, men samtidig får man alvorlige problemer med at prognostisere udviklingen i f.eks. den enkelte branches størrelse.

2.1. Modellens brancher

Da modellen tænkes anvendt i energiplanlægningen, der m.h.t. den samfundsøkonomiske udvikling er baseret på fremskrivninger af ADAM*, er der ved valg af branchegruppering taget udgangspunkt i ADAM's 6 industribrancher. Disse brancher giver en overordnet efterspørgselsorienteret opdeling af industrien og skulle fange de væsentligste strukturændringer. Da disse brancher i energimæssig henseende imidlertid ikke er særligt homogene, er de i modellen yderligere disaggregeret til ialt 14 brancher. Problemet ved at arbejde med meget inhomogene brancher er, at forklarende variable som f.eks. produktionen og energipriserne må forventes at påvirke energiforbruget i forskellige brancher forskelligt.

Som grundlag for at opdele ADAM-brancherne i energimæssigt mere homogene brancher er energiforbruget i disse analyseret ud fra de 117 nationalregnskabsbrancher (NR-brancher), som ADAM-brancherne er defineret ud fra. Ved at forudsætte at NR-brancherne er energimæssigt homogene enheder, kan en aggregeret branches homogenitet analyseres ved at se på forskelle imellem de underliggende NR-brancher. Det primære kriterie for at opdele en ADAM-branche har været forskelle imellem de underliggende NR-branchers totale energikoefficienter. Af yderligere kriterier, der har været anvendt i forbindelse med opdelingen, kan nævnes forskelle i energiforbrugets sammensætning på typer, forskelle i udviklingen i energiforbruget samt hvilke processer, der er typiske for den enkelte branche.

* Danmarks Statistiks makroøkonomiske model, der af Finansministeriet anvendes til fremskrivninger af den økonomiske udvikling.

Som overordnet mål for en aggregeret branches energimæssige homogenitet er valgt at anvende en vægtet procentvis spredning i de underliggende branches totale energikoefficient samt variationsområdet for disse. Den vægtede procentvise spredning er beregnet som

$$S = 100 \sum_{i=1}^N [(ek_i - EK)/EK]^2 P_i / P$$

hvor

EK er energikoefficienten for den aggregerede branche (TJ/mill.kr. produktion i 1975-priser),

ek_i er energikoefficienten for NR-branche i,

P og P_i er de tilsvarende produktionsværdier i 1975 priser.

S-værdien er således et mål for, hvor meget NR-branchernes energikoefficienter gennemsnitligt afviger fra den aggregerede branches energikoefficient. Ved fortolkningen af S-værdierne skal man være opmærksom på, at meget store energikoefficienter for enkelte NR-brancher vejer meget tungt, hvorimod meget små koefficienter kun vejer moderat. Den største negative afvigelse (når ek_i = 0) er -1, hvorimod enkelte NR-brancher har energikoefficienter, der er 3 til 5 gange den aggregerede branches koefficient, d.v.s. aggregerede brancher, hvor enkelte NR-brancher har meget store energikoefficienter, får relativt store S-værdier.

I tabel 2.1 er vist ADAM-branchernes energikoefficienter, de beregnede S-værdier samt største og mindste energikoefficient for de underliggende NR-brancher, og i tabel 2.4 er sammenhængen imellem ADAM's industribrancher og NR-brancherne samt de enkelte branches energikoefficienter for 1980 vist.

Tabel 2.1. ADAM-branchernes energikoefficienter, S-værdier og variationsområdet for NR-branchernes energikoefficienter

| ADAM-Branche | EK | S | min. - max. ekj |
|--------------------------|-------|-----|-----------------|
| Næringsmiddel | 0.958 | 122 | 0.29 - 5.21 |
| Nydelsesmiddel | 1.373 | 34 | 0.49 - 1.63 |
| Leverandører til byggeri | 5.492 | 124 | 0.22 - 27.17 |
| Jern og metal | 0.958 | 127 | 0.34 - 7.44 |
| Kemisk m.v. | 1.496 | 68 | 0.48 - 3.64 |
| Anden fremstilling | 1.129 | 127 | 0.25 - 6.21 |

Som det fremgår af tabel 2.1, er der ganske betydelige variationer i energikoefficienterne indenfor de enkelte ADAM-brancher, og energikoefficienter på over det dobbelte af ADAM-branchens er ikke ualmindelige. En undtagelse herfra er nydelsesmiddelindustrien, der synes rimelig homogen. Denne branche indeholder dog også kun 3 NR-brancher. Specielt store problemer synes at eksistere i branchen "Leverandører til byggeri", der med den største aggregerede energikoefficient indeholder både den største og den mindste energikoefficient i NR-brancherne. Generelt set synes tabel 2.1 at afsløre et behov for at splitte ADAM-brancherne op i energimæssigt mere homogene brancher. Ud fra energikoefficienterne vist i tabel 2.4 samt ovennævnte yderligere kriterier for at opdele ADAM-brancherne, er det fundet hensigtsmæssigt at opdele ADAM-brancherne i de 14 brancher vist i tabel 2.2.

For næringsmiddelindustrien synes det rimeligt at udskille slagterierne og fiskemel og foderstoffremstillingen i 2 adskilte brancher, således at ADAM-branchen opsplittes i 3 brancher. De væsentligste begrundelser for at udskille slagterierne er, som det ses af tabel 2.4, at disse har en betydeligt lavere energikoefficient end gennemsnittet for ADAM-branchen, samt at slagterierne på trods heraf anvender en ganske betydelig del af ADAM-branchens samlede energiforbrug. Fiskemel- og foderstoffremstillingen er udskilt p.g.a. denne branches relativt høje energikoefficient.

Da nydelsesmiddelindustrien er rimelig homogen, er denne branche bibeholdt i modellen.

Branchen "Leverandører til byggeri" er splittet op i cementfabrikker, teglværker og fremstilling af isoleringsmaterialer samt leverandører til byggeri iøvrigt. De udskilte brancher behandles særskilt primært p.g.a. deres meget høje energikoefficienter. Når cementfabrikkerne er udskilt i en branche for sig, skyldes det, at denne fabrikation er langt den mest energikrævende produktion, vi har. Cementfabrikkerne anvender ca. 10% af industriens samlede energiforbrug, men producerer under 0,5% af industriens samlede produktion.

Tabel 2.2. Modellens brancheopdeling

| <u>ADAM-brancher</u> | <u>Modellens brancher</u> | <u>NR-nummer</u> |
|--------------------------|--|---------------------|
| Næringsmiddelindustrien | Slagterier | 9, 10 |
| | Fiskemel og foderstoffer | 18, 26 |
| | Næringsmiddelindustrien iøvrigt | 11-17, 19-25 |
| Nydelsesmiddelindustrien | Nydelsesmiddelindustrien | 27-29 |
| Leverandører til byggeri | Cementfabrikker | 65 |
| | Teglværker og fremst. af isoleringsmaterialer | 64, 67 |
| | Lev. til byggeri iøvrigt | 5, 8, 37, 58, 66 |
| | | |
| Jern- og metalindustri | Jern- og metalværker | 68-71 |
| | Jern- og metalindustri iøvrigt | 72-88 |
| Kemisk industri | Fremst. af kemiske råstoffer og gødning | 50-51 |
| | Kemisk industri iøvrigt | 52-56, 59-61, 89-90 |
| | | |
| Anden fremst. virksomhed | Papir- og papfabrikker | 39 |
| | Keramik, porcelæn og glas | 62-63 |
| | Anden fremst.virksomhed iøvrigt | 30-36, 38, 40-49 |

Ser man på energikoefficienterne for jern- og metalindustrien, bemærkes en skarp skillelinie imellem jern- og metalværker og -støberier på den éne side og fremstilling af jern- og metalprodukter på den anden side. Da de 2 grupper desuden procesmæssigt adskiller sig væsentligt fra hinanden, synes det hensigtsmæssigt at opdele jern- og metalindustrien i disse 2 brancher.

For den kemiske industri synes der at være en næsten lige så naturlig skillelinie imellem de råstofforarbejdende brancher "Fremstilling af kemiske råstoffer og kunstgødning" og "Resten af den kemiske industri", hvorfor den kemiske industri i modellen er splittet op i disse 2 brancher.

Ser vi endelig på restgruppen "Anden fremstillingsvirksomhed", er dette en meget blandet gruppe, hvor NR-brancherne med enkelte undtagelser har meget små energikoefficienter. De væsentligste undtagelser er NR-brancherne "Papir- og papfabrikker" og "Fremstilling af porcelæn, keramik og glasværker". I modellen er denne ADAM-branche derfor opdelt i følgende 3 brancher

- a) papir- og papfabrikker, hvor tørringsprocesser er væsentlige,
- b) fremstilling af porcelæn, keramik og glasværker, der teknisk er karakteriseret af højtemperaturprocesser, og
- c) anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt.

Ser man overordnet på den valgte brancheopdeling, bemærkes, at primært de energiintensive brancher er udskilt, og at disse anvender ca. 40% af industriens samlede energiforbrug, men kun producerer ca. 8,5% af industriens samlede produktion.

For at belyse homogeniteten af den valgte brancheopdeling er i tabel 2.3 vist en spredningsberegning svarende til beregningerne i tabel 2.1.

Sammenlignes resultaterne i tabellerne 2.1 og 2.3, ses at brancheopdelingen har mindsket både spredningen og variationsområdet for de underliggende energikoefficienter ganske betydeligt, d.v.s. i energimæssig henseende er de valgte brancher mere homogene end ADAM-brancherne. Specielt bemærkes en betydelig forbedring indenfor jern- og metalindustrien. For de andre brancher bemærkes, at "restgruppernes" spredning stadig er forholdsvis høj, og for flere af disse har en yderligere opsplitning været overvejet. Når dette ikke er gjort, skyldes det primært, at en meget disaggregeret brancheopdeling reducerer modellens håndterlighed og giver alvorlige problemer med at forudsige udviklingen i modellens forklarende variable.

Tabel 2.3. De valgte branchers energikoefficienter, S-værdier og variationsområdet for NR-branchernes energikoefficienter (1975-priser)

| Branche | EK | s-værdi | min.-max. ek | Andel af industriens samlede energiforbrug |
|----------------------------------|-------|---------|---------------|--|
| Slagterier | 0.30 | 20 | 0.29 - 0.63 | 3.8% |
| Fiskemel og foderstoffer | 5.46 | 4 | 5.21 - 5.67 | 5.9% |
| Næringsmiddelindustrien iøvrigt | 1.25 | 62 | 0.50 - 3.30 | 15.5% |
| Nydelsesmiddelindustrien | 1.37 | 34 | 0.49 - 1.63 | 2.8% |
| Cementfabrikker | 27.17 | | 27.17 - 27.17 | 10.6% |
| Teglværker, isoleringsmaterialer | 8.08 | 37 | 6.24 - 12.99 | 6.4% |
| Lev. til byggeri iøvrigt | 2.60 | 58 | 0.22 - 5.46 | 9.4% |
| Jern- og metalværker | 5.17 | 44 | 2.07 - 7.44 | 6.6% |
| Jern- og metalindustri iøvrigt | 0.69 | 33 | 0.34 - 1.18 | 13.7% |
| Kemiske råstoffer og gødning | 3.15 | 20 | 2.29 - 3.64 | 5.2% |
| Kemisk industri iøvrigt | 1.03 | 44 | 0.62 - 2.30 | 5.9% |
| Papir- og papfabrikker | 6.21 | | 6.21 - 6.21 | 3.3% |
| Keramik, porcelæn og glas | 4.40 | 38 | 2.30 - 5.75 | 2.4% |
| Anden fremst.virksomhed iøvrigt | 0.74 | 73 | 0.25 - 2.28 | 8.5% |

Tabel 2.4. Energikoefficienter for 1980 i 1975-priser

| | | Total | Fast | Flyd. | El |
|--|--|-------|-------|-------|------|
| <u>ADAM-branch: Næringsmiddelindustri</u> | | 0.96 | 0.06 | 0.58 | 0.32 |
| <u>NR-branch</u> | | | | | |
| 9 | Svine- og kreaturslagterier | 0.29 | 0.00 | 0.14 | 0.14 |
| 10 | Fjerkræslagterier | 0.63 | - | 0.26 | 0.37 |
| 11 | Mejerier | 0.72 | - | 0.45 | 0.27 |
| 12 | Smelteost- og mælkekond.fabrikker | 1.45 | - | 1.06 | 0.39 |
| 13 | Konsumisfabrikker | 1.16 | - | 0.21 | 0.95 |
| 14 | Grønt- og frugtkonservesfabrikker | 1.25 | - | 0.82 | 0.43 |
| 15 | Fisketilberedning | 0.50 | 0.00 | 0.21 | 0.28 |
| 16 | Oliemøller | 2.47 | - | 1.63 | 0.83 |
| 17 | Margarinefabrikker | 0.95 | - | 0.69 | 0.25 |
| 18 | Fiskemelsfabrikker | 5.21 | - | 4.08 | 1.14 |
| 19 | Fremstilling af mel, gryn m.v. | 1.02 | 0.01 | 0.24 | 0.78 |
| 20 | Brødfabrikker | 2.02 | - | 1.62 | 0.40 |
| 21 | Kagefabrikker | 0.69 | - | 0.41 | 0.29 |
| 22 | Bagerier | 1.87 | - | 0.97 | 0.89 |
| 23 | Sukkerfabrikker | 3.30 | 1.43 | 1.59 | 0.28 |
| 24 | Chokolade- og sukkervarefabrikker | 1.03 | 0.01 | 0.58 | 0.45 |
| 25 | Fremst. af kartoffelmel, madpræp. m.v. | 2.06 | - | 1.57 | 0.49 |
| 26 | Fremst. af foderstoffer | 5.67 | 0.49 | 3.89 | 1.29 |
| | | Total | Fast | Flyd. | El |
| <u>ADAM-branch: Nydelsesmiddelindustri</u> | | 1.37 | - | 1.04 | 0.34 |
| <u>NR-branch</u> | | | | | |
| 27 | Sprit- og likørfabrikker | 1.54 | - | 1.18 | 0.37 |
| 28 | Bryggerier | 1.63 | - | 1.27 | 0.37 |
| 29 | Tobaksfabrikker | 0.49 | 0.01 | 0.25 | 0.24 |
| | | Total | Fast | Flyd. | El |
| <u>ADAM-branch: Leverandører til byggeri</u> | | 5.49 | 2.16 | 2.23 | 1.11 |
| <u>NR-branch</u> | | | | | |
| 5 | Skovbrug | 0.22 | - | 0.17 | 0.05 |
| 8 | Udvinding af grus, sten og salt m.v. | 4.35 | 0.17 | 3.36 | 0.81 |
| 37 | Træforarbejdning ekskl. møbler | 2.97 | 1.11 | 0.83 | 1.03 |
| 58 | Asfalt- og tagpapfabrikker m.v. | 5.46 | - | 4.46 | 1.00 |
| 64 | Teglværker m.v. | 12.99 | 0.37 | 10.35 | 2.27 |
| 65 | Cementfabrik., kalk- og mørtelværker | 27.17 | 18.94 | 4.96 | 3.28 |
| 66 | Betonwarefabrikker, stenhuggerier | 1.11 | 0.00 | 0.64 | 0.47 |
| 67 | Fremst. af isoleringsmaterialer m.v. | 6.24 | 2.09 | 2.81 | 1.35 |

| | Total | Fast | Flyd. | El |
|---|-------|------|-------|------|
| <u>ADAM-branch: Jern- og metal</u> | 0.96 | 0.02 | 0.44 | 0.50 |
| <u>NR-branch</u> | | | | |
| 68 Jern- og stålværker | 7.44 | 0.36 | 2.88 | 4.21 |
| 69 Jernstøberier | 4.15 | 0.39 | 0.83 | 2.93 |
| 70 Metalværker | 2.21 | 0.17 | 1.21 | 0.91 |
| 71 Metalstøberier | 2.07 | - | 1.25 | 0.83 |
| 72 Metal møbel fabrikker | 0.77 | 0.01 | 0.43 | 0.33 |
| 73 Fremst. af byggematerialer af metal | 0.59 | 0.02 | 0.30 | 0.27 |
| 74 Metalemballagefabrikker | 0.93 | - | 0.59 | 0.34 |
| 75 Fremst. af værktøj, køkkenredsk. m.v. | 1.18 | 0.02 | 0.55 | 0.62 |
| 76 Fremst. af landbrugsmaskiner | 0.74 | 0.01 | 0.46 | 0.27 |
| 77 Fremst. af industrimaskiner | 0.56 | 0.00 | 0.32 | 0.24 |
| 78 Smede- og maskinrep.værksteder | 0.71 | - | 0.42 | 0.28 |
| 79 Fremst. af husholdningsmaskiner | 0.58 | - | 0.32 | 0.26 |
| 80 Fremst. af køleanlæg, komponenter m.v. | 0.58 | - | 0.29 | 0.30 |
| 81 Fremst. af telemateriel | 0.34 | 0.00 | 0.17 | 0.16 |
| 82 Fremst. af el-husholdningsartikler | 0.59 | - | 0.15 | 0.44 |
| 83 Akkumulator- og tørrelementfabrikker | 1.19 | 0.01 | 0.40 | 0.78 |
| 84 Fremst. af el-motorer og kabler m.v. | 0.79 | - | 0.34 | 0.45 |
| 85 Skibsværfter og skibsmotorfabrikker | 0.95 | 0.01 | 0.43 | 0.52 |
| 86 Banematriel- og karosserifabr. m.v. | 0.70 | 0.00 | 0.41 | 0.29 |
| 87 Fremst. af cykler og knallerter m.v. | 0.58 | - | 0.36 | 0.22 |
| 88 Fremst. af måleinstrumenter m.v. | 0.39 | - | 0.16 | 0.23 |

| | Total | Fast | Flyd. | El |
|--|-------|------|-------|------|
| <u>ADAM-branch: Kemisk industri m.v.</u> | 1.50 | 0.00 | 0.68 | 0.81 |
| <u>NR-branch</u> | | | | |
| 50 Fremst. af kemiske råstoffer | 3.64 | - | 1.88 | 1.77 |
| 51 Fremst. af kunstgødning m.v. | 2.29 | - | 0.88 | 1.41 |
| 52 Fremst. af basisplast m.v. | 1.29 | 0.00 | 0.46 | 0.83 |
| 53 Farve- og lakfabrikker | 0.48 | - | 0.29 | 0.19 |
| 54 Medicinalvarefabrikker | 0.72 | - | 0.37 | 0.35 |
| 55 Sæbe- og kosmetikfabrikker | 0.62 | - | 0.40 | 0.22 |
| 56 Fremst. af rensedmidler, lim m.v. | 0.63 | - | 0.31 | 0.32 |
| 59 Vulkaniseringsanstalter | 1.74 | - | 1.08 | 0.65 |
| 60 Gummifabrikker | 2.11 | - | 1.11 | 1.10 |
| 61 Fremst. af plastvarer | 1.45 | 0.00 | 0.46 | 0.99 |
| 89 Guld- og sølvvarefremstilling | 2.30 | - | 1.49 | 0.80 |
| 90 Fremst. af legetøj, fritidsudstyr | 0.75 | 0.01 | 0.34 | 0.40 |

| | | Total | Fast | Flyd. | El |
|---|---|-------|------|-------|------|
| <u>ADAM-branche: Anden fremstilling</u> | | 1.13 | 0.13 | 0.57 | 0.43 |
| <u>NR-branche</u> | | | | | |
| 30 | Spinderier, væverier og tæppefabr. | 2.28 | 0.01 | 1.45 | 0.82 |
| 31 | Tekstilvarefremst. ekskl. beklædning | 0.50 | - | 0.32 | 0.19 |
| 32 | Trikotagefabrikker | 0.49 | - | 0.19 | 0.30 |
| 33 | Rebslagerier, fiskenetfabr. m.v. | 0.92 | - | 0.41 | 0.51 |
| 34 | Beklædningsfremstilling | 0.39 | - | 0.26 | 0.13 |
| 35 | Fremst. af lædervarer ekskl. fodtøj | 1.00 | - | 0.65 | 0.35 |
| 36 | Fremst. af fodtøj | 0.43 | 0.00 | 0.20 | 0.23 |
| 38 | Fremst. af træmøbler m.v. | 0.98 | 0.21 | 0.35 | 0.42 |
| 39 | Papir- og papfabrikker | 6.21 | 2.30 | 1.90 | 2.00 |
| 40 | Papiremballerings- og tapetfremst. m.v. | 0.67 | - | 0.27 | 0.40 |
| 41 | Reproduktionsanstalter og sætterier | 0.51 | - | 0.21 | 0.30 |
| 42 | Bogtrykkerier | 0.82 | - | 0.57 | 0.25 |
| 43 | Offsettrykkerier | 0.49 | - | 0.22 | 0.27 |
| 44 | Serigrafiske trykkerier m.v. | 0.67 | - | 0.33 | 0.34 |
| 45 | Bogbinderier | 0.62 | - | 0.33 | 0.30 |
| 46 | Dagblade | 0.31 | - | 0.12 | 0.18 |
| 47 | Bog- og kunstforlag | 0.34 | - | 0.17 | 0.17 |
| 48 | Ugeblade og magasiner | 0.28 | - | 0.14 | 0.14 |
| 49 | Annonceblade og tidsskrifter | 0.25 | - | 0.12 | 0.13 |
| 62 | Fremst. af porcelæn og keramik | 2.30 | 0.00 | 1.40 | 0.90 |
| 63 | Glasværker og glasbearbejdning | 5.75 | - | 4.50 | 1.25 |

2.2. Energiforbrugets opdeling på typer

Som udgangspunkt er energiforbruget opdelt på typerne fast, flydende og elektricitet. Foruden at give en opdeling efter energikvaliteter giver denne opdeling nogle grupper, imellem hvilke det er interessant at analysere substitutionsmulighederne. I planlægningsmæssige sammenhænge ville det også være interessant at analysere substitutionsmulighederne til fjernvarme og naturgas. Når disse 2 typer i modellen er inkluderet under flydende brændsel, skyldes det, at de i analyseperioden har haft en meget beskednen anvendelse i industrien, samt at den fremtidige udvikling i anvendelsen af disse i væsentlig grad er planlægningsmæssigt bestemt.

Endelig er de typiske transport energityper udskilt i en gruppe for sig. Grunden hertil er, at industriens transport-energifor-

brug traditionelt er inkluderet i prognoser for det totale transport energiforbrug, hvorfor en særskilt behandling er hensigtsmæssigt for at forebygge en dobbelttælling af dette forbrug.

Sammenhængen mellem de valgte energityper og energibalancerens 23 energityper er vist i tabel 2.5.

Tabel 2.5. Energibalancerens typer

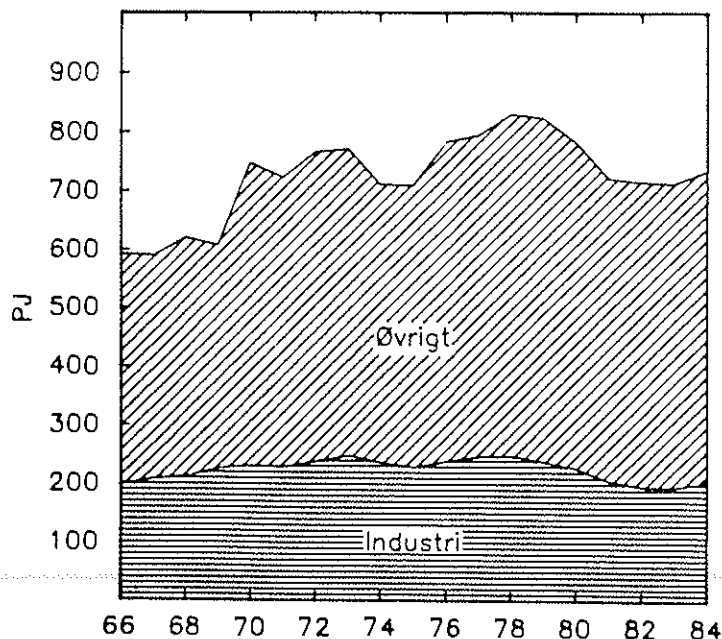
| Modellens typer | Energibalancerens typer |
|--------------------|---|
| Fast | Kul, brunkul, brunkulsbriketter, cinders og koks (herunder petroleumskoks), brænde |
| Flydende | Gasværksgas, fjernvarme, nafta, petroleum, fyringsgasolie, marinedieselolie, fuelolie, olieprodukter til videreforarbejdelse, LPG, raffinaderigas, naturgas |
| Elektricitet | Elektricitet |
| Transport brændsel | Jetpetroleum, jetbenzin, motorbenzin, autogasolie |

3. BESKRIVELSE AF INDUSTRIENS PRODUKTIONSPROCESSER OG ENERGIFORBRUG

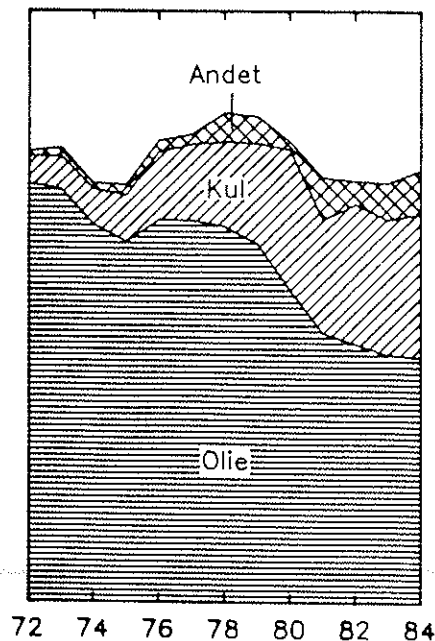
3.1. Den generelle udvikling i energiforbruget

De to energikriser i henholdsvis 1973-74 og 1979 påvirkede det danske energiforbrug, både med hensyn til det totale forbrug af energi og sammensætningen på energityper.

Figur 3.1 viser det samlede bruttoenergiforbrug fra 1966-84 opsplittet på industrianvendelse og øvrigt. Som det ses heraf, er totalenergiforbruget efter et toppunkt i 1978-79 faldet til i 1984 at have samme niveau som ved begyndelsen af 70'erne. En stor del af besparelserne er gennemført i industrien - således er industriens andel af det samlede bruttoenergiforbrug faldet fra 33% i begyndelsen af 70'erne til ca. 28% i 1984.



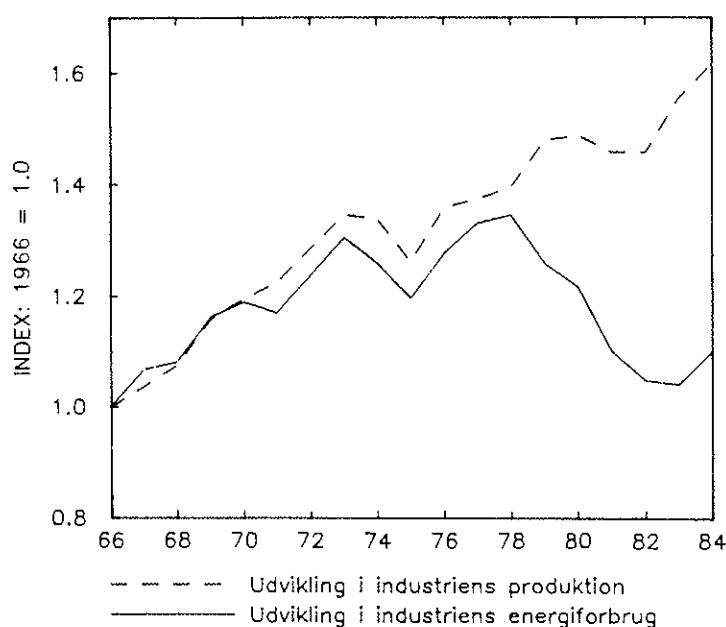
Figur 3.1. Bruttoenergiforbrug 1966-84, PJ



Figur 3.2. Bruttoenergiforbrug opsplittet på energityper

Figur 3.2 viser energiforbruget opsplittet på brændselstyper (elektricitet er her omregnet til primær energi). Specielt iøjnefaldende er naturligvis den store substitution fra olie til kul. Olieandelen faldt således fra ca. 90% i begyndelsen af 70'erne til ca. 55% i 1984. Størstedelen er her opnået ved en omlægning på kraftværkerne.

Figur 3.3 viser udviklingen i industriens bruttoenergiforbrug samt produktion. Indtil 1978 ses der en tæt sammenhæng mellem produktion og energiforbrug. Men herefter er der sket en afkobling af energiforbruget fra den økonomiske aktivitet - fra 1978 til 1983 steg industriproduktionen således med 11%, mens energiforbruget i industrien blev reduceret med 22%. Årsagerne hertil er at finde både i strukturelle ændringer og i specifikke energibesparelser.



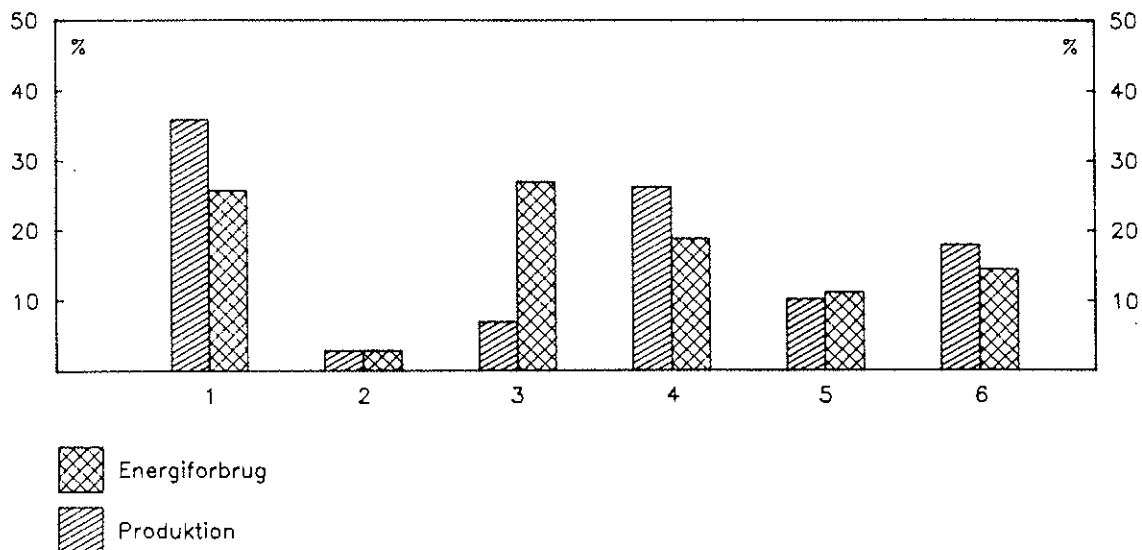
Figur 3.3. Udviklingen i industriens produktion og energiforbrug, index 1966 = 1.0

3.2. Energiforbruget opsplittet på brancher

Dansk industri er karakteriseret ved et relativt lille antal energi-intensive brancher, samt ved en meget lav gennemsnits-

energikoefficient. I 1983 var energikoefficienten for IEA-landene i gennemsnit ca. dobbelt så stor som for Danmark.

Figur 3.4 viser industriens energiforbrug og produktion opsplittet på de 6 ADAM-brancher.



- 1: Næringsmiddelindustrien
- 2: Nydelsesmiddelindustrien
- 3: Leverandører til byggeri
- 4: Jern- og metalindustrien
- 5: Kemisk industri
- 6: Anden fremstillingsvirksomhed

Figur 3.4. Andel af produktion og energiforbrug for de 6 ADAM-brancher i 1980

Som det ses af denne figur, er ADAM-branche 3 "Leverandører til byggeri" ikke alene den absolut mest forbrugende branche med 26.9% af totalforbruget, men også den mest energi-intensive med en energikoefficient på 3.6 (TJ/produktion i mio. 1980 kr.). Den næststørste forbruger af energi er "Næringsmiddelindustrien" (ADAM-branche 1) med 25.7% af det samlede industriforbrug, men denne branche har også den største andel af produktionen (35.8%) og således en energikoefficient på 0.7.

I tabel 3.1 er givet en detaljeret opsplitning på det i denne model anvendte aggregeringsniveau på 14 brancher. Ifølge denne opsplitning bliver "Cementfabrikker" den mest energi-intensive branche med en energikoefficient på 17.98, fulgt af "Teglværker m.v." på 5.50, "Papir- og papfabrikker" på 5.34 og "Jern- og metalværker" på 3.61. Alene disse 4 brancher bruger godt 27% af det samlede energiforbrug i industrien, men leverer kun godt 4% af den samlede produktion!

3.3 Branchebeskrivelser

Med udgangspunkt i de 6 ADAM-brancher er der i dette afsnit givet et sammendrag af de branchebeskrivelser, der er udarbejdet for de 14 brancher, der opereres med i denne model. Hovedvægten er lagt på de energi-intensive brancher, såsom "Cementindustrien" o.l. samt brancher, der har en betydelig vægt i det samlede billede. Beskrivelsen af brancherne vil koncentrere sig om de energikrævende produktionsprocesser, den historiske udvikling i energiforbrug, samt fremtidige muligheder med hensyn til energibesparelser m.v.

3.3.1. ADAM-branche 1: Næringsmiddelindustrien

Næringsmiddelindustrien består af modelbrancherne

- a) slagterier
- b) fiskemel og foderstof
- c) en restgruppe bestående af mejerier, bagerier, sukkerfabrikker m.v.

Produktionsmæssigt udgør slagterier godt 45% af ADAM-branchens samlede produktion, mod knap 5% til fiskemel og foderstof og knap 50% til øvrige. Energimæssigt har fiskemel og foderstof en andel på knap 25%.

Næringsmiddelindustriens udvikling i energiforbrug og produktion er vist på figur 3.5.

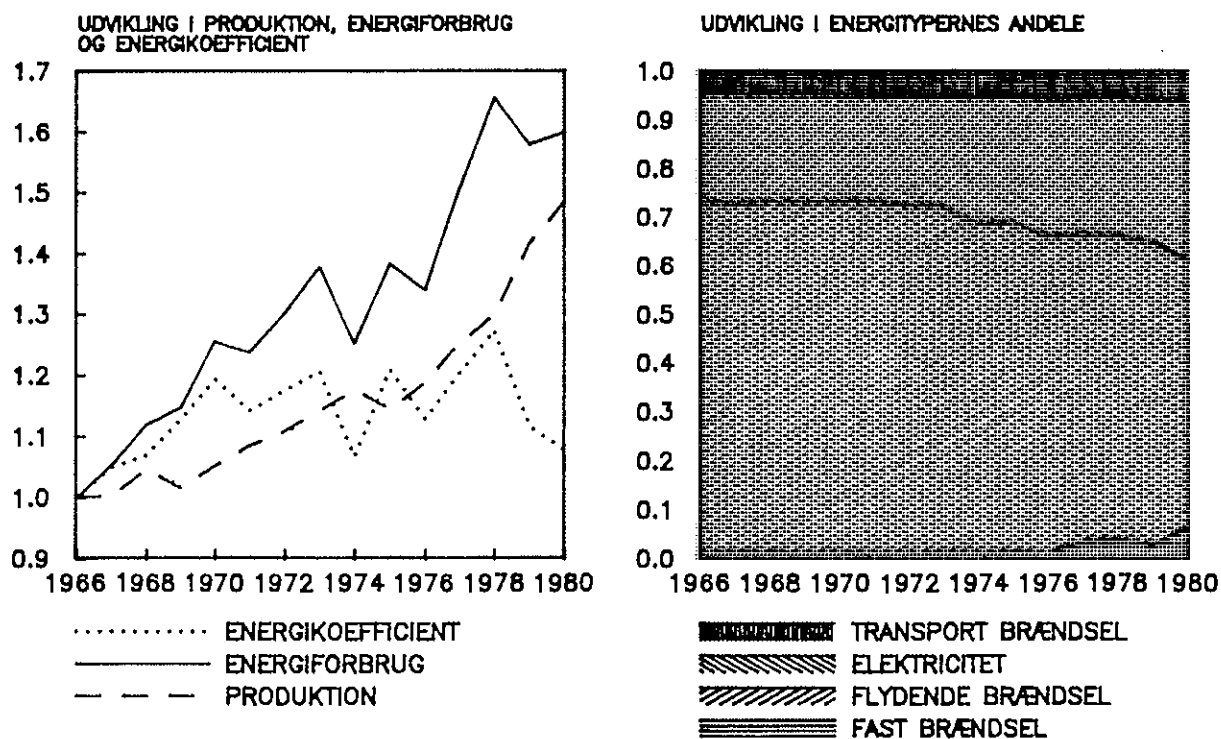
Tabel 3.1. Detaljeret opsplitning på industribrancher, procentandele og energikoefficienter (TJ/produktion i mio. 1980-kr.)

| ADAM-brancher | Industri andel (%) | | Model-gruppering | Industri andel (%) | | Energi-koefficient | | | | |
|-------------------------------|--------------------|---------------|--|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Produktion | Brutto-energi | | Produktion | Brutto-energi | Total | Fast | Flyd-ende | El | Transp. |
| Næringsmiddel | 35.8 | 25.7 | Slagterier Fiskemel-foderstof Øvrigt | 16.4 1.6 17.8 | 3.9 6.0 15.8 | 0.23 3.54 0.85 | 0.00 0.17 0.07 | 0.10 2.49 0.43 | 0.12 0.79 0.28 | 0.01 0.09 0.07 |
| Nydelsesmiddel | 2.9 | 2.9 | Nydelsesmiddel | 2.9 | 2.9 | 0.95 | - | 0.69 | 0.23 | 0.03 |
| Leverandører til byggeri | 7.0 | 26.9 | Cementindustri Teglværker m.v. Øvrigt | 0.5 1.2 5.3 | 10.6 6.7 9.6 | 17.98 5.50 1.71 | 12.53 1.10 0.32 | 3.26 3.25 0.85 | 2.17 1.09 0.51 | 0.02 0.06 0.03 |
| Jern- og metal-industri | 26.2 | 18.8 | Jern- og metalværker Øvrigt | 1.8 24.4 | 6.7 12.1 | 3.61 0.47 | 0.20 0.00 | 1.35 0.22 | 2.06 0.23 | 0.01 0.02 |
| Kemisk industri | 10.2 | 11.2 | Kem. råstoffer m.v. Øvrigt | 2.1 8.1 | 5.2 6.0 | 2.39 0.71 | - 0.00 | 1.14 0.29 | 1.24 0.40 | 0.01 0.02 |
| Anden fremstillingsvirksomhed | 17.9 | 14.5 | Papir- og papfabr. Keramik, glas m.v. Anden fremstilling | 0.6 0.9 16.4 | 3.3 2.5 8.7 | 5.34 2.73 0.50 | 1.98 - 0.02 | 1.63 2.02 0.24 | 1.73 0.69 0.22 | 0.01 0.02 0.02 |
| Total | 100.0 | 100.0 | | 100.0 | 100.0 | | | | | |

Slagterier

Denne modelbranche består af nationalregnskabsbrancherne (NR-brancherne) "Svine- og kreaturslagterier", samt "Fjerkræslagterier". Energikoefficienten for branchen er 0.23 (TJ/produktion i mio. 1980-kr.) mod et gennemsnit for dansk industri på 0.95 i 1980.

NÆRINGSMIDDELINDUSTRI



Figur 3.5. ADAM-branche 1. Index 1966 = 1.0 og andele

Produktion og proces

Af branchens produktionsværdi i 1980 udgjorde

| | |
|--|-----|
| Fjerkræ | 3% |
| Kødkonserver og andre forarbejdede varer | 17% |
| Huder og andet kød end svinekød | 20% |
| Svinekød | 60% |

Svineslagteriernes produktion, der er sammensat af gruppen svinekød og en del af gruppen kødkonserver og andre forarbejdede varer, udgør således den væsentligste del af branchens produktion.

Produktionsprocessen i et typisk svineslagteri kan kort beskrives ved følgende energikrævende delprocesser:

1. Efter selve slagtingen skoldes svinene i 60° varmt vand.
2. Herefter stødes hårene af i en hårstøder, og svinene køres ind i en svideovn, hvor de svides ved en høj stråletemperatur.
3. Efter svidningen skrubes den svedne overflade af, og svinet opskæres, og ryggen flækkes.
4. Herefter chokafkøles svinene i en køletunnel ved -24° og anbringes natten over i et udligningskølerum.
5. Svinene går derefter til udskæring eller baconproduktion, og endelig anbringes slutprodukterne på køle/fryselager indtil salg.

Til disse processer anvendes primært flydende brændsel og elektricitet. Der har været en kraftig stigning i elforbrugets andel, således at elforbruget i 1980 udgjorde ca. 51% af branchens totale energiforbrug mod 35% i 1970.

Energiforbruget kan skønsmæssigt fordeles på de enkelte processer, således at af elforbruget anvendes i 1980 ca.

55% til køling/frysning, d.v.s. køletunnel og køle/fryserum

22% til eldrevne maskiner

5% til trykluft og

18% til komfort

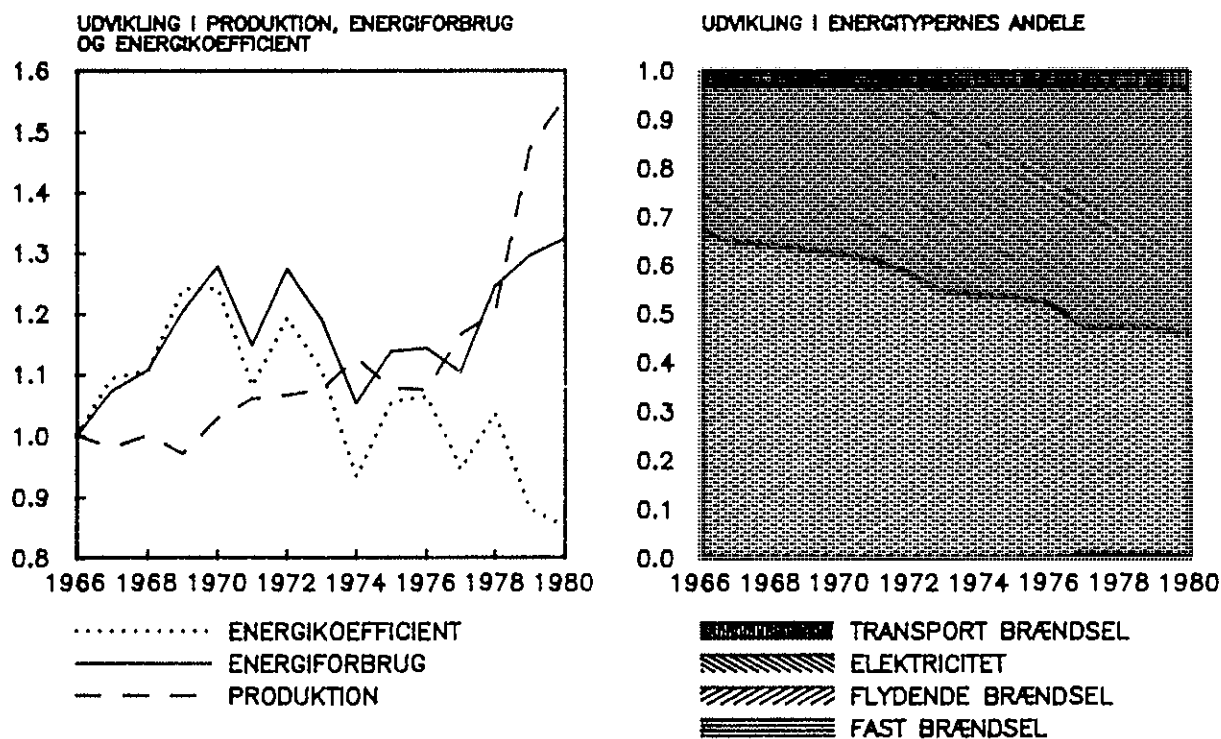
og af forbruget af flydende brændsel anvendes ca.

22% til svidning
5% til skoldning
33% til varmt brugsvand
21% til kedeltab
14% til komfort og
5% til diverse

d.v.s. de væsentligste energikrævende processer er svidningen og køle/frysningen.

Branchens udvikling 1966-80

SLAGTERIER



Figur 3.6. Slagterier. Index 1966 = 1.0 og andele

Figur 3.6 viser slagteriernes udvikling karakteriseret ved centrale variable. Branchens produktion i faste priser har været jævnt voksende - specielt i perioden 1975-80, hvor den samlede

stigning var ca. 30%. Energiforbruget er vokset knapt så hurtigt, hvorfor energiforbruget pr. produceret enhed er faldet med ca. 18% fra 1966-80. Dette fald er imidlertid nettoresultatet af en stigende energikoefficient frem til 1970 og en faldende efter 1972.

De energimæssige konsekvenser af den ændrede produktion og de ændrede energikoefficienter er beskrevet i tabel 3.2.

Tabel 3.2. Ændringer i slagteriernes energiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 228 | 1.187 | 1.414 |
| 1970-73 | 366 | -811 | -445 |
| 1973-75 | 11 | -274 | -265 |
| 1975-78 | 657 | -114 | 543 |
| 1978-80 | 1.794 | -1.400 | 395 |

Note: Ændringer i branchens totale energiforbrug er splittet op i ændringer, der kan tilskrives den ændrede produktion (Δ pv) og ændringer, der kan tilskrives ændrede energikoefficienter (Δ ek). Dette er gjort ved at antage konstante energikoefficienter over en periode og sammenligne det således beregnede energiforbrug med det faktiske.

Bortset fra perioden 1975-78 har ændrede energikoefficienter haft en væsentlig betydning for udviklingen i branchens energiforbrug. Frem til 1970 betød ændrede energikoefficienter et stigende energiforbrug, men siden har disse betydet besparelser i samtlige delperioder - specielt i 1970-73 og 1978-80.

Ved forsøg på at forklare denne udvikling skal man være opmærksom på, at det, der først og fremmest har været karakteristisk for slagterierne, er en voldsom koncentration. Over perioden 1966-78 faldt antallet af firmaer og slagteanlæg til h.h.v. en trediedel og halvdelen. Denne koncentration har medført en be-

tydelig rationalisering, hvilket bl.a. har medført, at produktionen pr. beskæftiget i løbet af perioden er vokset med 80%.

Koncentrationen og rationaliseringen har bl.a. medført en betydelig mekanisering og automatisering af selve slagteprocessen. Der er indført en lang række eldrevne maskiner og håndværktøjer til håndtering, transportering, opskæring og behandling af det opskårne kød, desuden er der sket en betydelig øget anvendelse af køle/fryse lagring af produkterne.

Ser vi på årene omkring de 2 store energiprisstigninger, må de faldende energikoefficienter i 1973-74 primært tilskrives en bedre "energy management", d.v.s. fjernelse af et unødvendigt forbrug af energi. Egentlige energibesparende foranstaltninger, koncentreret om de mest energikrævende processer (svidning og køling), er først sat i værk omkring 1978-79, og de første effekter af disse foranstaltninger kan observeres ved de faldende energikoefficienter i 1979 og 80.

De besparende foranstaltninger, der gennemføres på svideovnene, er en udskiftning af isoleringen med lette keramiske fibre, udnyttelse af brænder-luften fra loftet over ovnen, hvor luften er varm, automatik til styring af luft/olie forholdet i brænderen, hurtig åbning/lukning af ovnen samt omkobling til pilotflamme under stop på slagtekæden. Ved disse foranstaltninger kan spares ca. 50% af olieforbruget i svideovnene, hvilket svarer til ca. 10% af branchens forbrug af flydende brændsel.

Branchens udvikling efter 1980

Ved udgangen af 1983 var hovedparten af disse besparelser gennemført, og løseligt beregnet resterer der efter 1983 en besparelse på 3% af branchens forbrug af flydende brændsel. Foruden denne besparelse er der ved svideovnene opnået yderligere energibesparelser ved varmegenvinding til opvarmning til brugsvand og skoldekar. De opnåede besparelser anslås at svare til ca. 5% af branchens forbrug af flydende brændsel. Yderligere besparel-

ser på olieforbruget kan opnåes ved varmegenvinding på køle- og kompressoranlæg. Den genvundne varme kan anvendes til opvarmning af skoldekar, varmt brugsvand og komfortvarme. De potentielle besparelser på disse områder har en størrelsesorden svarende til ca. 1/2 af forbruget af flydende brændsel. For at opnå disse besparelser må der installeres dels store lagertanke til skoldekarvandet og dels varmepumper for at få vandet op på de 60°, der skal anvendes i skoldekar og en del af varmtvandsforbruget. Idag er disse foranstaltninger gennemført på en del slagterier, hvorved elforbruget er steget.

Besparelser på elforbruget vil primært være koncentreret om køle- og kompressoranlæggene. De besparelser, der kan opnåes ved optimering og evt. udskiftning af disse anlæg, synes beskedne, derimod gennemføres for tiden forsøg med køletunnelens køleflader, hvilket forventes at kunne medføre en reduktion af elforbruget med ca. 5%.

Alt i alt er det sandsynligt, at gennemførelsen af energibesparende foranstaltninger vil medføre et fald i koefficienten for flydende brændsel, således at denne i 1985 er ca. 30% lavere end i 1980. Elkoefficienten må derimod forventes at være enten konstant eller svagt stigende.

Fiskemel og foderstof

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Fiskemelsfabrikker" og "Fremstilling af foderstof". Energikoefficienten for branchen er 3.54 mod et gennemsnit for dansk industri på 0.95 i 1980. Energikoefficienten for foderstof er lidt højere end for fiskemel.

Produktion og proces

Produktionsmæssigt er de to NR-brancher næsten lige store og for begge er det muligt at opsplitte produktionen på relativt

få hovedprodukter (1980):

| | | |
|------------|---------------------|-----|
| Fiskemel: | fiskeolie | 19% |
| | fiskemel, foder | 75% |
| | affald, ensilage | 3% |
| | andet | 3% |
| Foderstof: | kødmel | 14% |
| | foderstoffer | 53% |
| | destruktionsfedt | 8% |
| | lucerne- og grønmel | 13% |
| | andet | 12% |

Især produktionen i fiskemelsindustrien er således ganske homogen. Foderstofbranchen er splittet betydeligt mere op på produktgrupper, men også her er det muligt at identificere nogle få hovedprodukter.

Formålet i fiskemelsindustrien er primært at skille olien fra fiskens bestanddele og konservere tørstofindholdet.

Efter kogning presses fiskemassen, hvorved den opsplittes i en væskedel og en pressekage. Væskedelen viderebehandles i en decanterings- og en centrifugeringsproces, hvor fedtdelen udtrækkes til fiskeolie. Endelig hæves tørstofindholdet ved inddampning. Slutproduktet herfra blandes med den iturevne pressekage, og denne blanding færdigtørres i en tørreovn.

De vigtigste processer ved fremstilling af fiskemel og fiskeolie kan således opsplittes i (andel af energiforbrug angivet i %):

| | |
|-------------|-----|
| Kogning | 22% |
| Inddampning | 27% |
| Tørring | 45% |
| Andet | 6% |

Tørring bliver således den mest energikrævende proces med ca. 1/2 af energiforbruget, efterfulgt af inddampning og kogning med

hver 1/4 af forbruget. Da 94% af den samlede produktion i fiskemelsbranchen udgøres af fiskemel og -olie, repræsenterer disse processer branchen på rimelig vis.

Foderstofbranchen er som nævnt noget mere heterogen. Fremstilling af foderstoffer, der udgør 53% af branchens produktion, foregår primært ved, at en råvare (korn o.l.) tørres, formales og eventuelt presses. Heraf er tørring langt den dominerende del energimæssigt set.

Fremstilling af kødmel og destruktionsfedt, der udgør 22% af branchens produktion, foregår ved en proces, der meget ligner fremstillingen af fiskemel og -olie. Den indgående råvare (døde dyr o.l.) knuses, grovhakkes og koges. Derefter presses produktet, og det opsplittes i en væskedel og en pressekage (jvf. fiskemel). Væskedelen centrifugeres og inddampes, hvorved fedtet udskilles. Restproduktet blandes med pressekagen, det hele tørres og formales, og slutproduktet kødmel fremkommer. Denne fremstillingsproces er relativ ny (1982) - fremkommet som et resultat af et EFP-projekt - men er på kort tid blevet implementeret i et stort antal fabrikker. Den tidligere anvendte proces havde et energiforbrug, der var op til 50% højere.

Lucerne- og grønmel, der udgør ca. 13% af produktionen i foderstofbranchen, fremstilles ved, at en indgående råvare (græs o.l.) koges, tørres og eventuelt formales og/eller presses. Denne produktion er relativt mere energi-intensiv end de øvrige i foderstofbranchen, og igen udgør tørring den dominerende del energimæssigt set.

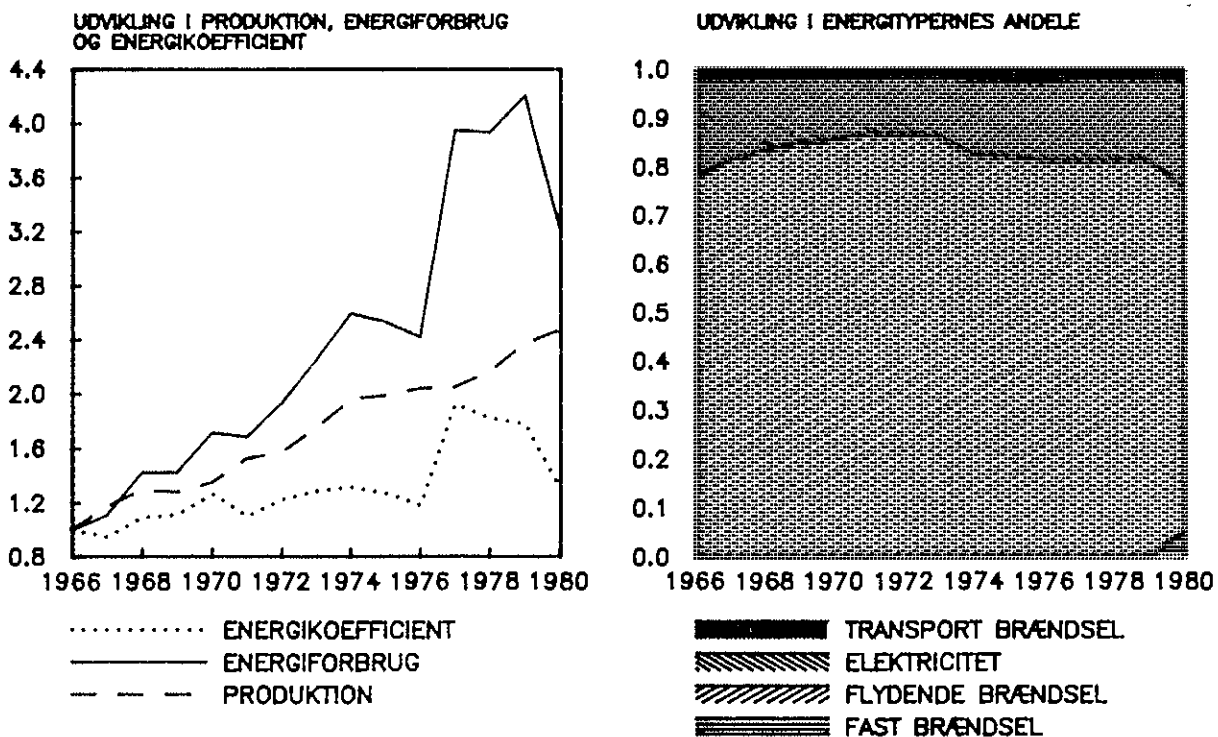
De to foran beskrevne NR-brancher ses procesteknologisk at ligne hinanden ganske meget. Teknisk må den samlede branche således anses for at være relativt homogen.

Branchens udvikling 1966-80

Figur 3.7 viser udviklingen for centrale variable. Produktion i

faste priser har været jævnt stigende i hele perioden, og den er blevet fordoblet fra 1966 til 1980, svarende til en produktionsstigning på ca. 6% p.a. fordelt på en lidt højere vækst i fiske-
melsindustrien (6.5% p.a.) end i foderstofbranchen (5.0% p.a.)
Bruttoenergiforbruget voksede i samme periode med ca. 8% p.a.,
hvorfor energikoefficienten har været svagt stigende - specielt
noteres dog en kraftig stigning i koefficienten fra 1977-79, ef-
terfulgt af et fald i 1980.

FISKEMEL OG FODERSTOFFER



Figur 3.7. Fiskemel og foderstof. Index 1966 = 1.0 og andele

Energimæssige konsekvenser af ændret produktion og energikoefficient er givet i tabel 3.3 (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.3. Ændringer i energiforbrug i foderstof og fiskemel

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 1.026 | 1.290 | 2.316 |
| 1970-73 | 1.606 | 131 | 1.737 |
| 1973-75 | 1.560 | -656 | 903 |
| 1975-78 | 687 | 3.863 | 4.550 |
| 1978-80 | 1.804 | -4.101 | -2.297 |

Ændrede energikoefficienter ses at være meget fluktuerende over perioden og dækker over betydelige udsving i de to brancher. En del af energikoefficientens stigning i perioden 1975-78 skyldes således foderstofbranchens påvirkelighed af klimatiske forhold. Specielt året 1978 var karakteriseret ved en enddog meget våd høst, hvilket har medført en betydelig forøgelse af energiforbruget til tørring. En anden medvirkende forklaring på den høje energikoefficient i disse år kan være afregningsregler for korn. Den tilladelige vandprocent for handelskorn har været justeret op og ned i denne periode - sidst i 1980, hvor den blev fastlagt til 15%. Udsvingene i energikoefficienten for foderstofbranchen i årene 1977-79 er dog tilsyneladende ikke teknologisk betinget og må således anses for at være af temporær karakter.

I sidste halvdel af 70'erne tyder udviklingen på en svagt faldende tendens i energikoefficienten specielt for fiskemelsindustrien. En del af dette fald må tilskrives generelle besparelser, "energy management", mens nye energibesparende teknologier kun er indført i begrænset omfang.

Flydende brændsel udgør den største, men stærkt faldende andel af branchens bruttoenergiforbrug - især efter 1975 er flydende brændsels betydning gået stærkt tilbage fra 82% til 70% i 1980. Dette skyldes dels overgang til kul, dels en forøget elektricitetsandel. Kul bliver kun anvendt i foderstofbranchen, og det startede ganske småt i begyndelsen af 70'erne. I 1977 faldt anvendelsen af kul helt bort, for så at komme igen i 1980, hvor

kulforbruget kom til at udgøre knap 9% af bruttoenergiforbruget i foderstofbranchen (4.8% i hele modelbranchen).

Branchens udvikling efter 1980

Både inden for foderstofbranchen og fiskemelsindustrien er der igangsat flere forskningsprojekter for at opnå lavere energiforbrug. Det gælder specielt inden for processer som fler-trins tørring, pellettering og restrukturering af hele procesgange. Flere projekter er allerede afsluttet og resultaterne på vej til at blive implementeret på virksomhederne.

For foderstofbranchen kan således nævnes den tidligere omtalte proces for kød- og benmel. Udviklet i 1982 og forventes implementeret i løbet af 2-3 år. Alt andet lige burde energikoefficienten inden for foderstofbranchen i dag være 5-10% lavere alene af denne grund.

Efter et totalt bortfald i slutningen af 70'erne begyndte foderstofbranchen påny at anvende kul i 1980, og i et langt større omfang end tidligere. Det var inden for grøntttørring, at kul fandt anvendelse i selve tørringsprocessen. Erfaringerne herfra var så gode, at i alt 7 fabrikker i løbet af 1980 blev konverteret til kul - primært på bekostning af olie, der nu kun anvendes til ganske få processer i disse fabrikker. Den videre indtrængning af kul på grøntttørrerier er gået meget hurtigt. I dag er 90-95% af alle grøntttørrerier (fremstilling af lucerne- og grøntmel) konverteret til kul, hvilket skulle betyde, at ca. 20% af foderstofbranchens samlede energiforbrug i dag skulle udgøres af kul. Ud over denne anvendelse af kul kan der ikke forventes yderligere indtrængning af kul, hverken i foderstof- eller fiskemelsbranchen.

Den samlede modelbranche er karakteriseret ved et ganske betydeligt antal mindre virksomheder, og implementeringen af energibesparende forskningsresultater burde derfor forløbe relativt

jævnt - er resultaterne lovende og informationskanalerne veludbyggede, kan det dog forløbe som i ovennævnte to tilfælde. Herudover må der forventes en fortsat jævn substitution af olie for elektricitet.

Næringsmiddelsindustrien iøvrigt

Denne modelbranche består af en stor gruppe ikke særligt energintensive virksomheder. I energimæssig henseende er de væsentligste NR-brancher mejerier (33% af branchens energiforbrug), sukkerfabrikker (20%), brødfabrikker og bagerier (10%), samt oliemøller (10%).

Modelbranchens energikoefficient er 0.85 mod den samlede industri 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Branchen er for heterogen til en teknisk udtømmende beskrivelse af de forskellige energikrævende processer.

Dog kan man forsøge at identificere følgende mere generelle energikrævende processer, hvis indbyrdes størrelsesforhold det dog er vanskeligt at udtale sig særligt præcist om:

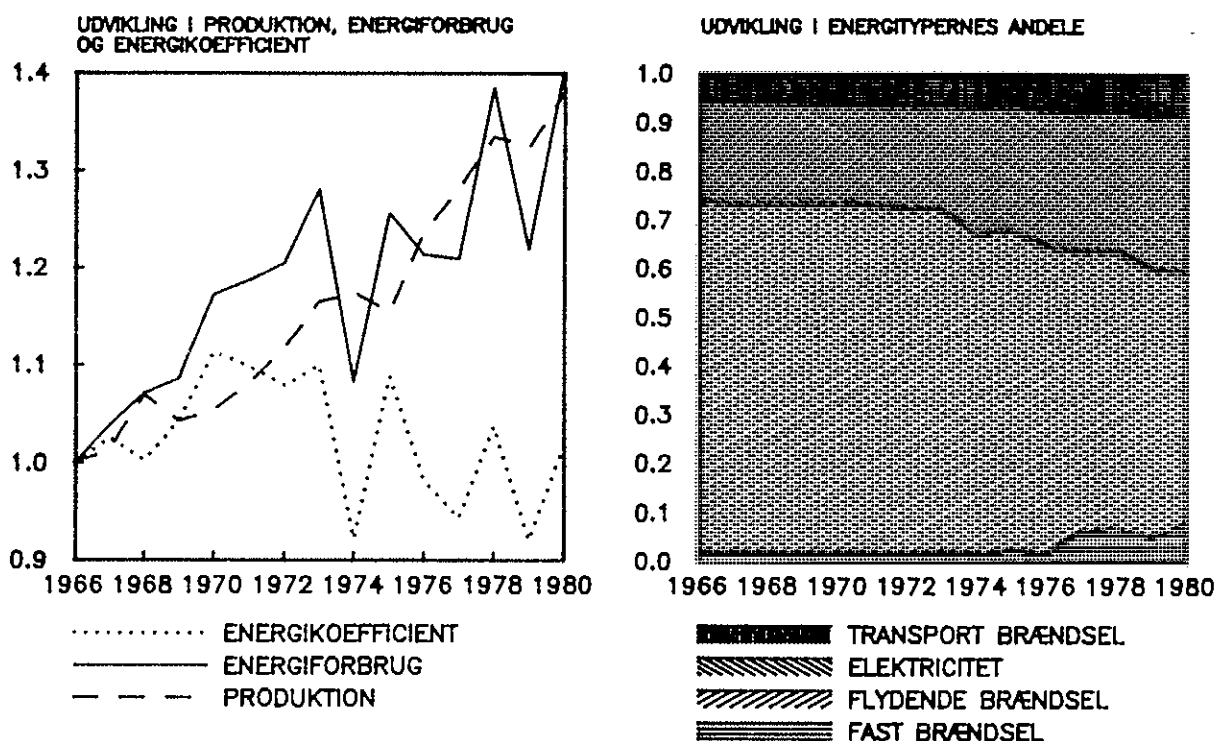
1. varmt vand til rengøring
2. varmebehandling af produkter d.v.s. pasteurisering, blanchering og kogning
3. fordampning d.v.s. bagning, tørring og inddampning
4. køling og frysning af færdigvarer.

Ser vi på de enkelte NR-brancher, er der et væsentligt forbrug af varmt vand til rengøring indenfor mælke-, margarine og konserverproduktionen. Varmebehandling er væsentlig indenfor mejerier, konserver samt sukkerfabrikker, og fordampning er væsentlig for tørmælk, bagerier og sukkerfabrikkerne. Til disse processer anvendes primært fast- og flydende brændsel, hvorimod

der primært anvendes elektricitet til køle/fryseprocesserne, der er væsentlige indenfor mælke-, is-, grønt-, frugt- og fiske-tilberedningen. Desuden anvendes en del elektricitet til at drive diverse maskiner samt til elopvarmede bageovne i bagerierne. Endelig skal det nævnes, at den overvejende del af sukkrefabrikernes elforbrug dækkes ved egenproduktion, og at tallene for elforbruget kun medregner indkøbt elektricitet.

Branchens udvikling 1966-80

NÆRINGSMIDDELINDUSTRIEN I ØVRIGT



Figur 3.8. Næringsmiddelindustri i øvrigt. Index 1966 = 1.0 og andele

Figur 3.8 viser udviklingen i branchens centrale variable. Produktionen har været jævnt stigende - fra 1966-75 med 1.6% p.a. og 1975-80 med 3.6% p.a. Energiforbruget er stort set steget tilsvarende, således at energikoefficienten er den samme i 1980

som i 1966, dog er dette nettoresultatet af en stigende energikoefficient frem til 1970 og en faldende efter 1973. Ser man specielt på energitællingsårene (1970-73-75-78-80), bemærkes et jævnt fald i branchens samlede energikoefficient.

Tabel 3.4 giver effekten af henholdsvis produktions- og energikoefficient-ændringer (forklaring: se note tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.4. Ændringer i branchens energiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 1.264 | 2.108 | 3.373 |
| 1970-73 | 2.861 | -731 | 2.130 |
| 1973-75 | -13 | -474 | -488 |
| 1975-78 | 6.064 | -3.539 | 2.525 |
| 1978-80 | -72 | 408 | 336 |

Ser man på effekterne af produktionsændringerne (tabel 3.4), bemærkes, at skønt branchens totale produktion steg fra 1978 til 80, er der i denne periode en besparende effekt fra produktionsændringerne. Dette skyldes, at der i perioden er sket forskydninger i NR-branchernes relative størrelse, og siden 1970 er der sket en forskydning imod en større andel af mindre energintensive NR-brancher.

For udviklingen i energiforbrugets sammensætning (figur 3.8), bemærkes, at der siden 1973 er sket et betydeligt fald i andelen af flydende brændsel og en tilsvarende kraftig stigning i andelen af elektricitet. Samtidig er der sket et betydeligt fald i antallet af beskæftigede og over perioden 1966-80 er produktionen pr. beskæftiget steget med 70% svarende til en produktivitetsstigning på 3.9% p.a. Det stigende elforbrug synes derfor at skulle forklares ved en kombination af en voksende mekanisering, et stigende behov for køle/frysning af færdigvarer, samt en oliesubstitutionseffekt. Udviklingen i forbruget af fast brændsel kan forklares ved sukkerfabrikkernes substitution fra olie til kul, samt disses produktionsudvikling.

Ser vi på udviklingen omkring hvert af de 2 olieprishop synes effekterne meget beskedne, og selv om enkelte NR-brancher som f.eks. mejerierne opnåede ganske pæne besparelser ved "energy management" umiddelbart efter den første prisstigning, er disse besparelser altså ikke store nok til at slå mærkbart igennem på modelbranchens totale forbrug. Generelt må man sige, at effekterne af olieprisstigningerne har vist sig som en roligt fallende trend i modelbranchens forbrug af flydende brændsel. De største effekter viser sig efter 2-5 år, hvorfor de væsentligste effekter af det andet prishop først forventes at vise sig efter 1980. Dette lag i effekterne hænger bl.a. sammen med modelbranchens sammensatte og i teknisk henseende heterogene natur.

Branchens udvikling efter 1980

For udviklingen efter 1980 kan det forventes:

- at gennemslag for energibesparelser sker langsomt og i de fleste tilfælde først, når kapitalapparatet udskiftes af anden årsag
- at elforbruget udviser en stigende trend, der må forklares ved en kombination af flere faktorer
- at udviklingen i forbruget af fast brændsel kan forklares af udviklingen på sukkerfabrikkerne. I 1980 dækkede kulforbruget ca. 50% af sukkerfabrikkernes totale brændselsforbrug, i 1983 var andelen vokset til 65-70% og frem til 1985-86 forventes andelen at vokse til ca. 90%. Denne udvikling betyder, at koefficienten for fast brændsel forventes at vokse fra de 0.1 i 1980 til 0.2 i 1985-86 og derefter at være stort set konstant.

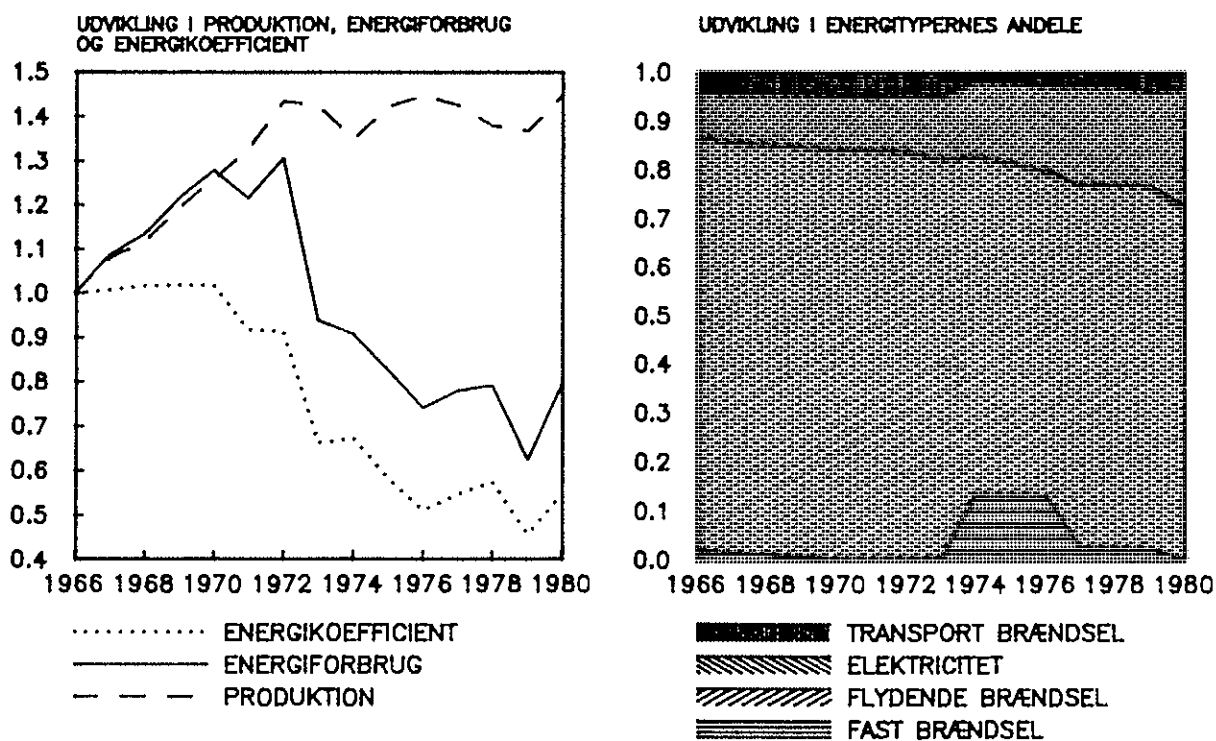
3.3.2. ADAM-branche 2: Nydelsesmiddelindustrien

Nydelsesmiddelindustrien består af NR-brancherne "Bryggerier",

"Sprit- og likørfabrikker", samt "Tobaksfabrikker". ADAM-branchen er sammenfaldende med den i modellen anvendte aggregering.

Udviklingen i centrale variable for nydelsesmiddelindustrien er vist i figur 3.9.

NYDELSESMIDDELINDUSTRIEN



Figur 3.9. ADAM-branche 2. Index 1966 = 1.0 og andele

Produktion og proces

På de tre NR-brancher fordeler produktion og energiforbrug sig som følger (1980):

| | Produktion (%) | Energiforbrug (%) |
|--------------------------|----------------|-------------------|
| Bryggerier | 72 | 82 |
| øl | 75 | |
| Sodavand | 17 | |
| Malt | 4 | |
| Div. | 4 | |
| Sprit- og likørfabrikker | 8 | 10 |
| Spiritus | 70 | |
| Chips m.v. | 15 | |
| Gær | 10 | |
| Div. | 5 | |
| Tobaksfabrikker | 20 | 8 |
| Cigaretter og tobak | 65 | |
| Cigarer og cerutter | 35 | |
| Ialt | 100 | 100 |

De særlig energikrævende processer i bryggerierne er malttør-
ring, opvarmning af mæskekar, urtkogning, lagerkøling og pas-
teurisering samt flaskerensning.

Tobaksfabrikkernes væsentligste energiforbrug går til opvarm-
ning og befugtning af luft.

For begge disse produktioner gælder det, at selv små ændringer
i produktionen indvirker på produktets smag, og der er derfor
snævre grænser for de energibesparende foranstaltninger, der kan
gennemføres, og de kræver i alle tilfælde langvarige forsøg for
at sikre kvaliteten.

Ved spritfabrikationen er det særlig kogning af råmaterialer
samt destillationen, der er energikrævende.

Denne produktion kræver derimod ikke særlige smagsmæssige hen-
syn, idet produktet er ren 96% alkohol, der først derefter
bruges til fremstilling af drikkevarer.

Branchens udvikling 1966-80

Branchens udvikling er givet på før viste figur 3.9. De energi-

mæssige konsekvenser af ændret produktion og energikoefficient er givet i tabel 3.5 (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.5. Ændringer i branchens energiforbrug

| | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 1.804 | -35 | 1.769 |
| 1970-73 | 1.404 | -3.575 | -2.170 |
| 1973-75 | 27 | -751 | -723 |
| 1975-78 | -179 | -23 | -203 |
| 1978-80 | 263 | -268 | -4 |

Udviklingen i energiefficienten kan bl.a. forklares ved, at der i alle tre NR-brancher i de seneste år er sket væsentlige strukturændringer.

Mange små bryggerier er nedlagt eller omdannet til rene tappe-
rier, hvor brygningen foregår centralt. Enkelte bryggerier er
blevet udvidet, og et stort nyt er taget i brug i Fredericia i
1979. Endvidere er en stor del af den tidligere danske produk-
tion til eksport overført til udlandet.

For spritfabrikationens vedkommende er den største strukturfor-
andring sket i forbindelse med spritmonopolets ophævelse i 1972.
Dette medførte, at importen af alkohol (>80%) steg fra 0 i 1971
til ca. 20 mill. l i 1974. Samtidig faldt den danske produktion
med ca. 7 mill. l, idet fabrikken på Amager, der producerede
Ethylalkohol fra Ethylen fra Pyrolyseværket, standsede produk-
tionen. Det store fald i energiforbruget i de år skyldes denne
fabrikslukning. En del omlægninger i produktionen har ført til
faldende energiforbrug.

Tobaksindustrien har været karakteriseret af en stærk koncen-
tration til nogle få virksomheder. Den største fusion fandt
sted i 1974, hvor British-American Tobacco og Augustinus, der
hver havde ca. 50% af cigaretmarkedet, blev slået sammen til
Skandinavisk Tobaks Kompagni, og den ene fabrik (Augustinus på

Amager) blev lukket. Det første niveauskift i energiforbruget skal nok tilskrives denne fusion. Firmalukninger af mindre virksomheder fortsatte, og sammen med bevidste energibesparelser fra 1975, hvor et nyt styringssystem for fugtning og tørring af tobak blev indført med 20% besparelse, har vi forklaringen på faldet 1975-78.

Udviklingen på energityper ses af figur 3.9. Det ses, at der optræder et isoleret kulforbrug i 1975 (der var også et lille forbrug på Spritfabrikkerne i 1978), hvor både Carlsberg og Spritfabrikkerne kortvarigt fyrede med dette brændsel. Forbruget af flydende brændsel er faldende, mens forbruget af indkøbt el er stigende. Forbruget af indkøbt el er steget, dels fordi der er indført flere maskiner, men også fordi egenproduktionen relativt er faldende. Det må desuden forventes, at en hel del olie vil blive erstattet af naturgas fremover. Faldet i transportenergi fra 1970-75 skyldes strukturrationaliseringen i branchen.

Udviklingen efter 1980

Bryggeriernes produktivitet har været stærkt stigende gennem perioden, og det må forventes, at de fortsatte bestræbelser vil medføre procesændringer, der udnytter mulighederne for energibesparelser, men som samtidig er mere automatiserede og dermed el-forbrugende.

For spritfabrikationen er der i 1984 installeret en ny destillationskolonne med varmegenvinding fra kondensatorer til koger, hvilket giver en årlig besparelse på ca. 30 TJ. I 1985 vil fabrikken i Grenå blive kulfyret. Spritfabrikkerne vil således i 1985 være næsten 100% kulfyrede, hvilket svarer til ca. 7% af modelbranchens totale energiforbrug.

Inden for tobaksindustrien er der stadig betydelige energibesparelsemuligheder, men de er ikke rentable med de nuværende energipriser. De største besparelsemuligheder ligger i varmegenvinding fra ventilationsluft. Der ventileres kraftigt for at nedbringe tobaksstøvmængden. Tobaksstøv er som andet organisk

støv imidlertid eksplosionsfarligt, når koncentrationen øges i varmegenvindingsanlæg.

3.3.3. ADAM-branche 3: Leverandører til byggeri

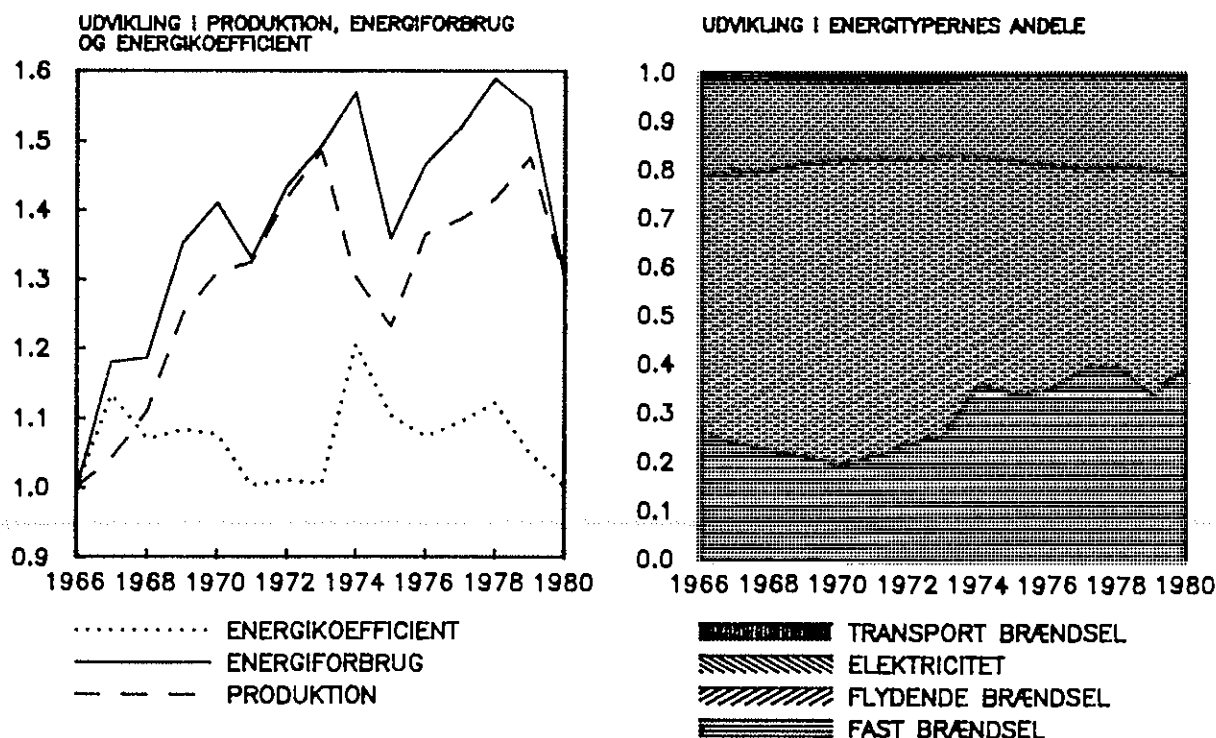
Leverandører til byggeri består af modelbrancherne

- a) Cementfabrikker
- b) Teglværker og isoleringsfremstilling
- c) Restgruppe af øvrige leverandører til byggeri.

Produktionsmæssigt udgør "Cementfabrikker" 8% af ADAM-branchens samlede produktion, mod godt 16% til "Teglværker og isolering", samt 76% til "Øvrige". Energimæssigt har "Cementfabrikker" en andel på knap 40%, "Tegl og isolering" knap 25% og godt 35% til "Øvrige".

Udviklingen i den samlede ADAM-branche er vist på figur 3.10.

LEVERANDØRER TIL BYGGERI



Figur 3.10. ADAM-branche 3. Index 1966 = 1.0 og andele

Cementfabrikker

Denne modelbranche består af NR-branchen "Cementfabrikker, Kalk- og mørtelværker". Energikoefficienten for branchen er 17.98 (TJ/produktion i mio. 1980-kr.) mod den samlede industris 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Branchens produktionsværdi er i 1980 fordelt på følgende produkttyper:

| | |
|--------------------------|-----|
| Cement | 71% |
| Mørtel, brændt kalk m.v. | 14% |
| Aluminiums malme | 7% |
| Andet | 8% |

Den helt dominerende energiforbrugende proces i branchen er fremstilling af cement. Cement udgør 71% af branchens produktion i 1980, men flere andre produkter fra branchen gennemgår brændingsprocesser m.v., der ligner energiomsætningen under cementfremstilling. Beskrivelsen af branchen vil derfor i sin tekniske del fokusere på produktion af cement.

Cementproduktion herhjemme er centreret i det nordlige Jylland, hvor Ålborg Portlands fabrik Rørdal i Ålborg tegner sig for hovedparten af den danske produktion. Produktionsprocessen for cement er i Danmark den såkaldte "vådproces", som baserer sig på de danske forekomster af kridt og ler, der har et højt indhold af vand (hhv. ca. 25% og 35%). Vådprocessen kan i korthed karakteriseres ved følgende to energikrævende processer:

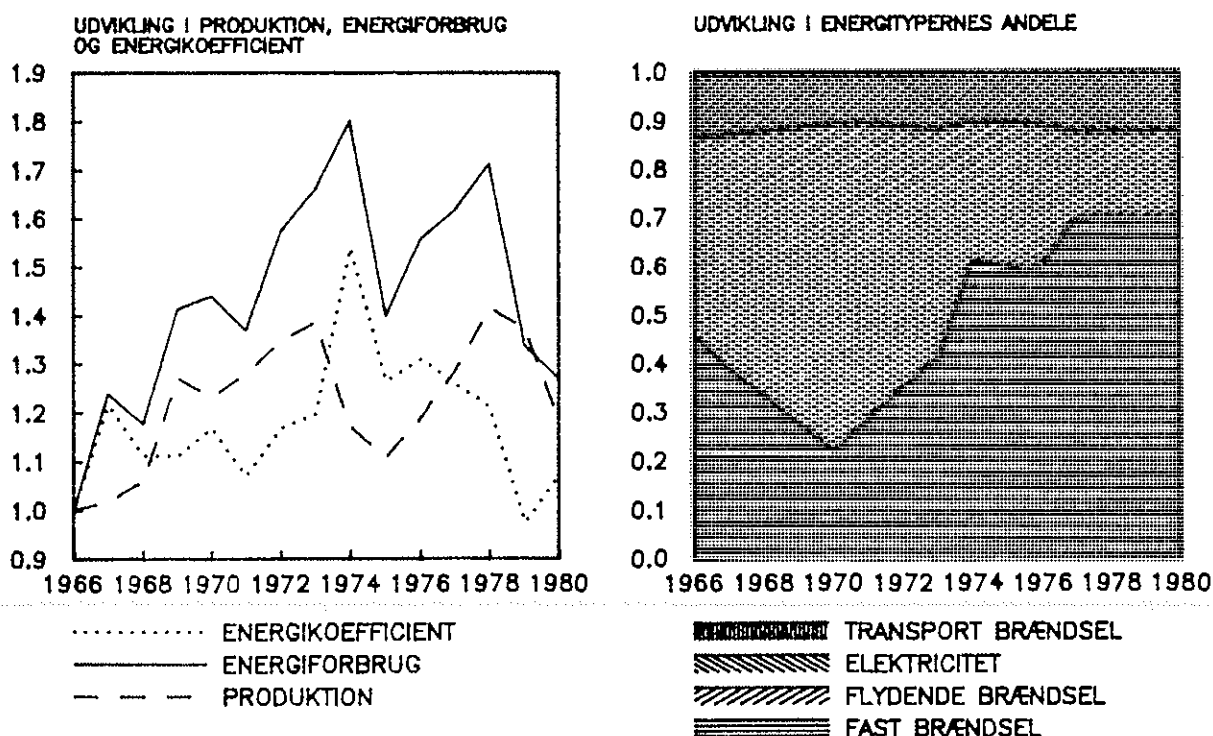
1. En opslemning af kridt og ler med et vandindhold på 37-38% tørres og brændes til klinker i en roterovn ved 1400-1450°C.
2. De brændte cementklinker formales i roterende cylindermøller til færdig cement.

Omsætningen af termisk energi i roterovne med våd proces udgør ca. 85% af bruttoenergiforbruget. Omkring 15% af bruttoenergiforbruget anvendes til mekanisk arbejde (el) under cementfremstillingen.

Branchens udvikling 1966-80

Figur 3.11 viser udviklingen for branchen. Efter en jævn produktionsstigning frem til 1973 slår byggekrisen 1974-75 kraftigt igennem på branchen, som får et samlet fald i produktionen fra 1973 til 1975 på 21%. Herefter stiger produktionen atter, indtil investeringerne inden for nybyggeriet påny begynder at falde i 1979. En del af den stigende produktion efter 1975 skyldes en stigende eksport, der i mængder fordobles fra 1976 til 1979, og i 1980 udgør 17% af produktionsværdien.

CEMENTFABRIKKER



Figur 3.11. Cementfabrikker. Index 1966 = 1.0 og andele

Ændringer i bruttoenergiforbruget forårsaget af ændret produktion eller ændrede energikoefficienter er vist i tabel 3.6 (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.6. Ændringer i bruttoenergiforbrug, cementfabrikker, kalk- og mørtelværker

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|--------|--------|---------|
| 1966-70 | 3.325 | 3.088 | 6.413 |
| 1970-73 | 2.343 | 880 | 3.223 |
| 1973-75 | -5.003 | 1.177 | -3.826 |
| 1975-78 | 5.201 | -606 | 4.595 |
| 1978-80 | -4.179 | -2.331 | -6.510 |

Energikoefficienten er stigende frem til 1975. Specielt i 1974 viser energiforbruget en kraftig isoleret stigning, og den lave produktion samme år giver en enkeltstående markant stigning i energikoefficienten i 1974. Kulforbruget stiger i 1974, primært fordi cementfabrikkerne opbygger kullagre til ca. 3 måneders forbrug. I denne periode handles kul på langtidskontrakt med Polen, hvorfra leverancerne dengang var ustabile. Kullagrene afvikles i 1979, hvilket bl.a. giver sig til kende i et kraftigt fald i energikoefficienten for 1979.

Fra 1974 til 1978 ligger energikoefficienten henved 15% højere end niveauet fra før 1973. Årsagen hertil kan være, at omlægning til kul og anvendelse af kul betyder en noget lavere virkningsgrad. Omskiftende produktionsgang i denne periode mellem to byggekriser kan også være medvirkende.

Brændselssammensætningen fremviser markante ændringer over perioden. I 1973/74 sker en kraftig substitution fra olie til kul, og noget tilsvarende sker fra 1976 til 1977. Allerede i 1977 udgør fast brændsel 70% af bruttoenergiforbruget, og flydende brændsel er helt nede på 17%, mod 67% i 1970.

Elforbruget viser ingen fremtrædende ændringer over perioden 1966-1980. Dog er der en svagt stigende andel af elektricitet i bruttoenergiforbruget.

Udviklingen efter 1980

Faldet i cementproduktionen begyndende i 1980 fortsætter frem til 1982, hvor der nås et minimum på under halvdelen af produktionen i 1973. I 1983 og 1984 stiger produktionen igen med hhv. ca. 5% og 10%. På grund af ændrede konkurrenceforhold på eksportmarkedet foretages en omlægning af produktion mod hvid cement. I 1980 var ca. 10% af produktionen hvid cement, og den andel blev forøget til ca. 25% i 1984. 95% af den hvide cement eksporteres, og i 1984 var den samlede eksport ca. 1/3 af cementproduktionen.

Hvid cement misfarves, hvis kul bruges til brændingen. Olie må fortsat anvendes ved denne fremstilling. Derimod fremstilles grå cement i dag alene på kul i Danmark. Man kan således forvente, at andelen af flydende brændsel næppe vil falde yderligere. Tværtimod vil olieforbruget kunne stige med en øget eksport.

Da det specifikke energiforbrug ved fremstilling af hvid cement ligger godt 50% højere end for grå cement, vil en voksende andel hvid cement øge branchens energikoefficient. Den nævnte ændring i produktsammensætning siden 1980 øger energikoefficienten med ca. 8%.

Ved cementproduktion er tørring af slam i ovne meget energikrævende, ca. 1/3 af bruttoenergiforbruget medgår hertil. Derfor udfoldes særlige bestræbelser på at nedbringe vandindholdet i råslammen. Betydelige energibesparelser kan opnås ved at nedsætte vandindholdet i råslammen ad mekanisk vej - ved centrifugering og/eller presning. En reduktion af vandindholdet fra 38% til 20% vil kunne reducere energiforbruget under brændingen med ca. 20%. Ved at gå videre med såkaldte tørreknusere kan vandindholdet yderligere reduceres til ca. 3%, hvorefter en energioekonomisk tør proces direkte kan anvendes.

Endnu en mulighed for reduktion af energiforbruget til termisk tørring af råslam er at reducere vandmængden under opslemning af råmaterialerne. Tilsættes råmaterialerne organiske overfladeaktive stoffer, kan vandindholdet i råslammen nedsættes fra de ca. 38% til ca. 30%. I perioden 1980-83 gennemfører Ålborg Portland en sådan reduktion af råslammens vandindhold ved tilsætning af lignossulfonat. Herved kunne det specifikke bruttoenergiforbrug sænkes 7-8%.

Ålborg Portland overvejer at fortsætte konverteringen af anlægget til semitør proces. Med semitør proces menes en proces, hvor den mekaniske reduktion af vandindholdet i slammen fortsættes ved brug af tørreknusere, fra de 30% vand til et indhold på 3%. Det fremkomne pulver skal herefter brændes i tørprocesanlæg, der forbedrer energiøkonomien med op til 15% på processen efter tørrefasen. En overgang til semitør proces vil til gengæld øge elforbruget med ca. 10%.

Det har vist sig, at der i standard cement udover 10% flyveaske, som tilsættes under klinkebrændingen, yderligere kan tilsættes 25% flyveaske under formalingen af cementklinkerne. Foruden brændselsbesparelsen opnås herved, at produktets flydeegenskaber forbedres. Da standard cement udgør ca. 40% af produktionen i 1984, kan energikoefficienten for cementfabrikation siden 1980 alene af denne årsag forventes at være faldet med 10%.

Branchen har altid måttet tage særlig hensyn til forbruget af brændsel, der er den største omkostningsfaktor. Effektiviteten i produktionen overvåges og styres med avanceret teknik, og energiøkonomisk styring af processen søges stadig forbedret i branchen. Dog vil væsentlige energiforbrugsreduktioner stadig kunne gennemføres på de generelle områder: efterisolering, tætning af ovne m.v., særlig vedligehold i energijømed, varmegenvinding o.s.v.

På el-forbrugssiden vil effektregulering, styring, udvidet vedligehold m.v. formentlig med økonomisk fordel kunne øge effektiviteten med ca. 10%. Energiforbruget til klinkeformaling kan med

kendt teknik (vertikal klinkemølle) reduceres med ca. 20%. Da klinkeformaling tegner sig for halvdelen af elektricitetsforbruget i dag, vil her ligge besparelsesmuligheden på ca. 10% af elforbruget.

Det største potentiale for energibesparelser ligger i forbindelse med renovering og ombygning af ovne, hvor termisk energi omsættes. Ved gradvist at konvertere ovne forventer Ålborg Portland i perioden frem til 1988 at have reduceret brændingens specifikke energiforbrug med ca. 28% i forhold til 1980-niveauet.

Samles alle ovennævnte effekter, og antages disse gennemført i perioden 1980 til 1990, vil det specifikke bruttoenergiforbrug kunne reduceres med ca. 25% under 1980-niveauet. Reduktionen vil være fordelt med en næsten 30% reduktion i forbruget af termisk energi og en reduktion i elforbruget pr. kg produceret cement på ca. 5%.

Teglværker og fremstilling af isoleringsmateriale

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Teglværker" og "Fremstilling af isoleringsmateriale m.v.". Energikoefficienten for modelbranchen er 5.50 (TJ/produktion i mio. 1980-kr.) mod et industri-gennemsnit på 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Produktionsmæssigt er fremstilling af isoleringsmateriale godt dobbelt så stor som teglværksbranchen. Energikoefficienten er dog noget højere i teglværker, hvorfor disse udgør ca. 45% af bruttoenergiforbruget. Procesmæssigt er de to NR-brancher ret forskellige, hvorfor de vil blive beskrevet særskilt.

Produktionsværdien i teglværksbranchen er i 1980 fordelt på følgende produkttyper:

| | |
|---|-----|
| Mursten, tagsten, drænrør | 71% |
| Varmeisolerende sten, ildfaste sten, glasserede/uglasserede sten og fliser | 17% |
| Moler | 7% |
| Andet | 5% |

De væsentlige energikrævende processer er:

1. Tørring af de formede sten. I dag anvendes næsten udelukkende kammertørringsanlæg. Tørringen varer 1-4 døgn, hvor stenene ventileres med varm luft. Under tørringen hæves lufttemperaturen jævnt fra omkring 40°C til ca. 90°C.
2. Brænding. De tørrede sten brændes i kontinuert arbejdsende tunnelovne. Disse er 80-150 m lange oftemurede tunneler, hvori stenene opvarmes til 950-1050°C i modstrøm med røggas og luft.

Af det samlede bruttoenergiforbrug anvendes til disse processer skønsmæssigt:

| | |
|----------|------|
| Tørring | 40% |
| Brænding | 42%. |

Elforbruget anvendes i det væsentlige til drift af blæsere i ovne og tørreanlæg samt til bearbejdning af ler.

Produktionsværdien ved fremstilling af isoleringsmateriale er i 1980 fordelt på følgende produkttyper:

| | |
|----------------------|-----|
| Mineraluld | 69% |
| Gipsplader og-fliser | 14% |
| Kryolit, Chiolit | 6% |
| Andet | 11% |

Fremstilling af isoleringsmateriale dominerer således branchens produktion, hvorfor den følgende beskrivelse vil fokusere på denne del.

Der fremstilles to slags mineraluldsprodukter, stenuld og glasuld. Fremstillingsprocessen for de to mineraluldsprodukter er meget lig hinanden, og produkterne har stort set samme anvendelsesmuligheder.

Produktionsprocessen for mineraluld kan i korthed beskrives således:

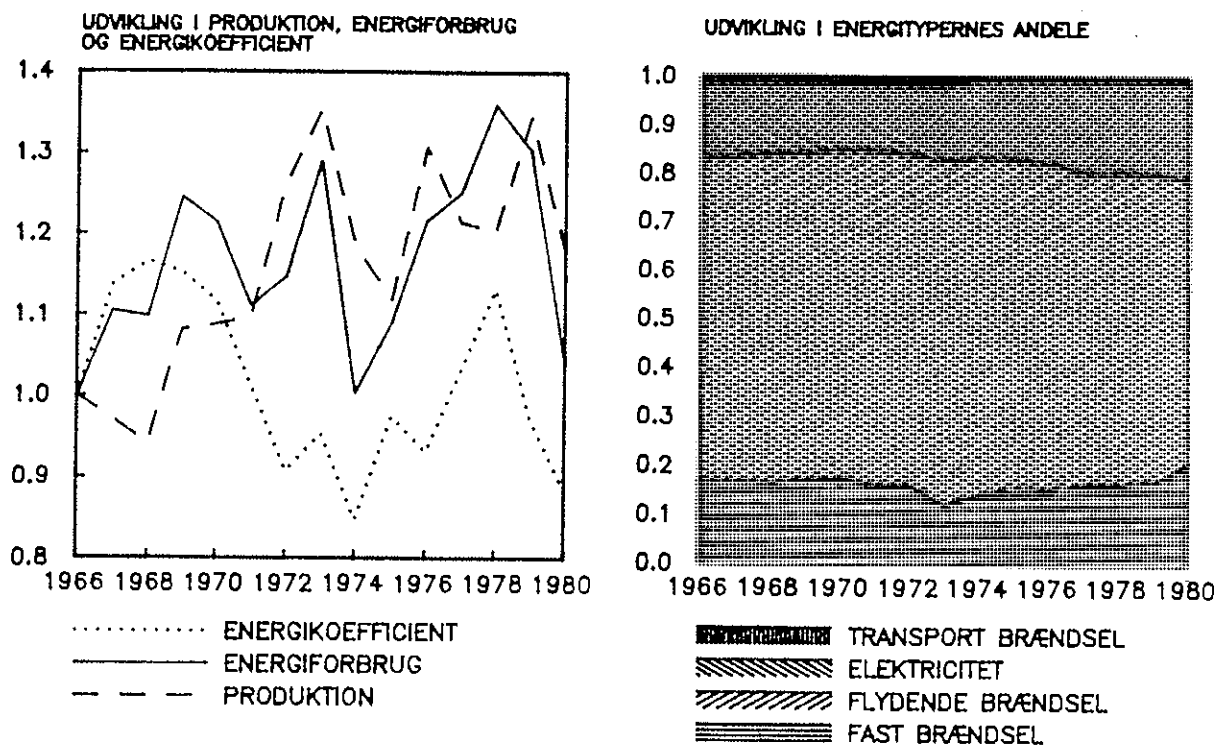
1. Smeltning af råmateriale - der i glasuld er en blanding af sand, soda, kalk og et bormineral - foregår ved ca. 1400°C i en kupolovn fyret med svær gasolie. Ved fremstilling af stenuld er temperaturen 1800-1900°C.
2. Fibrering, hvor det smeltede råmateriale presses igennem fint hullede roterende skiver til fibre. Derefter trækkes fibrene til den ønskede diameter (ca. 5 µm) i en expanderende gasflamme eller i en varm luftstrøm.
3. Fibermassen imprægneres og ledes gennem en ovn, hvorefter filten er formfast.

Branchens udvikling 1966-80

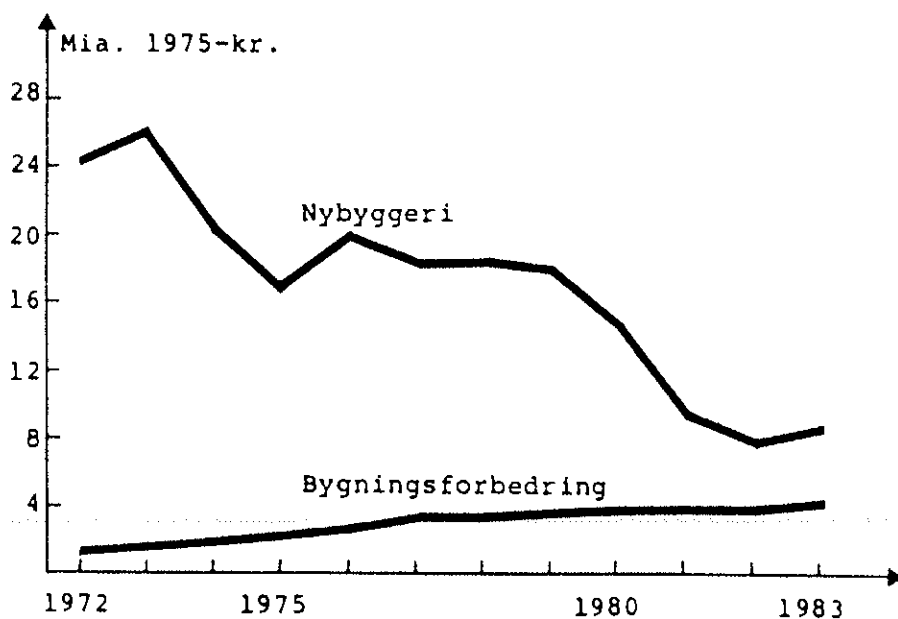
Figur 3.12 viser udvikling i væsentlige variable for teglværker og isoleringsfremstilling.

Produktion på teglværker er primært afhængig af udviklingen i nybyggeriet, mens isoleringsfremstilling udover nybyggeriet er væsentlig påvirket af udviklingen i bygningsforbedringer, isoleringsstandarder og denne branches eksport. Figur 3.13 viser investeringer i nybyggeri og bygningsforbedringer.

TEGLVÆRKER, ISOLERINGSMATERIALER



Figur 3.12. Teglværker og isoleringsfremstilling. Index 1966 = 1.0 og andele



Figur 3.13. Investeringer i nybyggeri og bygningsforbedring inden for bolig- og erhvervsbyggeriet 1972-1983, målt i faste 1975-priser.

Produktionen på teglværker har i vid udstrækning fulgt udviklingen i nybyggeriet: fald i 1974-75, ca. 15% lavere niveau end før krisen frem til 1979, hvor den seneste byggekrise slår igenem med et fald på knap 20% fra 1979 til 1980.

Tabel 3.7 viser ændringer i teglværkernes energiforbrug forårsaget af ændret produktion og energikoefficienter (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.7. Ændringer i teglværkernes energiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 22 | 1.328 | 1.350 |
| 1970-73 | 460 | -751 | -291 |
| 1973-75 | -2.024 | 268 | -1.756 |
| 1975-78 | 737 | 1.828 | 2.565 |
| 1978-80 | -1.597 | -1.338 | -2.935 |

I begyndelsen af perioden er energikoefficienten for teglværker præget af omlægninger. De traditionelle rundovne, i hvilke brændezonen vandrer i ring, bliver i denne periode udskiftet til fordel for tunnelovne, hvori teglen transporteres gennem en fast brændzone. Tunnelovne betyder en væsentlig rationalisering og nedsætter det specifikke energiforbrug under brændingen betydeligt. I samme periode går man bort fra udetørring af det formede ler og anvender i stigende grad varmlufttørring i kamre. Herved reduceres tørretiden til få dage. Dette medfører imidlertid også et øget brændselsforbrug, der overskygger energiforbrugsreduktionen ved overgang til tunnelovne.

I 1978 har energikoefficienten for teglværker en markant top. Forklaringen herpå skal nok søges i, at perioden mellem de to byggekriser er præget af en aktivitetsstigning med varieret produktionssammensætning og en forceret produktion.

Sammenlignet med teglværker kommer isoleringsbranchen produktionsmæssigt betydeligt bedre igennem byggekrisen 1973-74. Efterspørgslen efter isoleringsmateriale ligger på et ret konstant højt niveau fra 1972-73 frem til 1980, bl.a. på grund af forøgede investeringer i bygningsforbedringer, strengere krav til nye boligers isoleringsstandard (udtrykt i bygningsreglementet BR 77), samt en øget eksport bl.a. på nye markeder for andre anvendelser af produktet, f.eks. lydisolering.

Tabel 3.8 viser ændringer i isoleringsbranchens energiforbrug forårsaget af ændret produktion og energikoefficienter (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.8. Ændringer i bruttoenergiforbrug, fremstilling af isoleringsmaterialer m.v.

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------|--------|---------|
| 1966-70 | 1.069 | -32 | 1.037 |
| 1970-73 | 2.585 | -1.442 | 1.143 |
| 1973-75 | -674 | 185 | -489 |
| 1975-78 | 399 | 62 | 461 |
| 1978-80 | 560 | -1.216 | 656 |

Energikoefficienten er meget følsom over for udnyttelsesgraden af det enkelte produktionsspor. Tomgangsforbruget af energi kan i ekstreme tilfælde være på 3/4 af energiforbruget ved maksimal kapacitetsudnyttelse. En betydelig del af energiforbruget går til at opretholde det nødvendige temperaturniveau i procesanlægget.

Bruttoenergiforbruget har en væsentlig lavere stigningstakt end produktionen i en 5-årig periode før 1973. Energikoefficienten falder i perioden med omkring 25%. Denne udvikling hænger sammen med, at nybyggeriet kulminerer i perioden, og at et nyt energiøkonomisk produktionsanlæg tages i brug i Vamdrup. Den store efterspørgsel betyder, at alle anlæg kunne køre med en

høj kapacitetsudnyttelse, hvilket giver et lavt specifikt energiforbrug.

Trods afmatningen inden for nybyggeriet ligger produktionen på et højt niveau i perioden 1978-80, og dette afspejles i en lav energikoefficient.

Udviklingen efter 1980

Den produktionsnedgang, der ses for den samlede modelbranche fra 1979-80 fortsætter frem til 1983, hvor nybyggeriet når et lavpunkt på omkring 20.000 boliger pr. år, d.v.s. ca. 2/3 af 1980-niveauet. For isoleringsfremstilling kan det yderlige forventes, at en begyndende mætning af efterisoleringsmarkedet vil kunne mærkes på afsætningen af isoleringsmaterialer.

Undersøgelser udført af Kalk- og Teglværkslaboratoriet viser, at energibesparelsesmuligheder på teglværker primært ligger i tørreproces og brænding og tilsammen vil kunne andrage ca. 30% af bruttoenergiforbruget. For at opnå disse besparelser kræves typisk kun mindre investeringer og forbedret vedligeholdelse.

Mulighederne for at reducere energiforbruget er klart større, når det drejer sig om konstruktion af nye anlæg. Et eksempel er en ny ringformet tunnelovn, der synes at kunne henved halvere et traditionelt brændselsforbrug under brændingen. Også nye tunneltørreanlæg forventes i mange tilfælde at være energibesparende i forhold til kammertørringsanlæg, men da den tekniske levetid for ovne og tørreanlæg er stor (20-25 år), og da branchen har været præget af afsætningsvanskeligheder, må den energimæssige virkning af nye produktionsanlæg nok forventes at ligge noget fremme i tiden.

I isoleringsbranchen anvendes frem til 1982 alene koks eller svær olie som brændsel i kupolovnene. Superfos Glasuld har imidlertid ændret denne proces til elektrosmeltning i den nye fabrik i Vamdrup (januar 1982). Elforbrugsandelen i branchen vokser

betydeligt i 1982. I 1983 tages Superfosfabrikken i Kastrup ud af drift. Da man her anvender svær fuel olie, må der forventes en kraftig reduktion i andelen af flydende brændsel fra knap 45% i 1980 til ca. 20% af bruttoenergiforbruget til isoleringsfremstilling i 1984.

Naturgas har substitueret det traditionelle forbrug af butangas i mineraluldsproduktionen, og naturgas har tillige substitueret en del olie. Gas kan substituere al olie og i teorien vil naturgas også kunne substituere fast brændsel til kupolovne.

Leverandører til byggeri iøvrigt

Denne modelbranche består af NR-brancherne: "Skovbrug", "Udvinding af grus, sten og salt m.m.", "Træforarbejdning ekskl. møbler", "Asfalt og tagpapfabrikker m.m." og "Betonvarefabrikker og stenhuggerier". Modelbranchens energikoefficient er på 1.71 mod den samlede industris 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Produktionsmæssigt er branchen domineret af "Træforarbejdning ekskl. møbler" og "Betonfremstilling" med h.h.v. 39% og 36% af den samlede produktion. Energimæssigt er træforarbejdning den største med knap 44% af bruttoenergiforbruget, fulgt af asfalt og tagpap med knap 24%. Udvinding af grus m.v. er marginalt større energiforbrugsmæssigt end betonvarefabrikker med h.h.v. godt 16% og godt 15% af bruttoenergiforbruget.

Produktionen i branchen er yderst heterogen. En grov oversigt over proces med tilknyttet energitype kan dog gives for de enkelte NR-brancher:

Skovbrug: primært flydende brændsel til skovning og transport af tømmer.

Udvindingen af grus, sten m.v.: flydende brændsel anvendes til selve udgravningen af råmateriale, mens den efterfølgende sortering i grus, sten, skærver etc. hovedsagelig anvender elektricitet.

Træforarbejdning ekskl. møbler: processen kan beskrives som opskæring af rå træ (anvendelse af elektricitet), der nedtørres (hertil anvendes næsten udelukkende flydende brændsel). Endelig forarbejdes træet til lægter, spær, bjælker, finer etc.

Asfalt, tagpap m.v.: produktet består af to komponenter, dels special grus, dels et olieprodukt, bitumen eller asfalt. Asfalten varmes op, hvilket sker under anvendelse af flydende brændsel. Herefter kommes special grusen i den kogende masse, der så blandes (v.hj.a. elektricitet). Denne fremstilling er ret energi-intensiv.

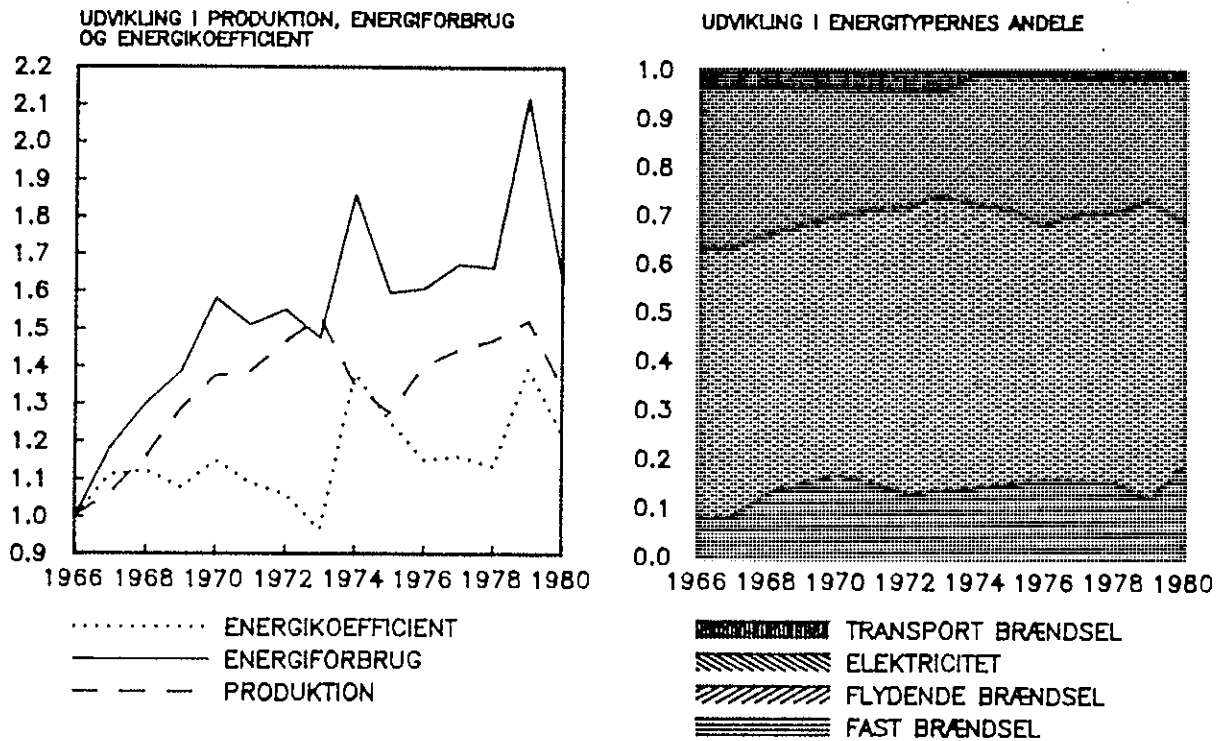
Betonvarefremstilling: grus, sten og cement blandes under tilførsel af vand, og de ønskede emner udstøbes - en proces der ikke er særlig energi-intensiv, og hvortil der anvendes elektricitet.

Branchens udvikling 1966-80

Figur 3.14 viser udviklingen i branchens centrale variable. Som det ses af figuren, er branchen kraftig påvirket af udviklingen i boligbyggeriet: Produktionen falder på grund af byggekriser i 1973-74, samt i 1979-80.

Tabel 3.9 viser ændringer i branchens bruttoenergiforbrug forårsaget af ændret produktion og energikoefficient (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

LEVERANDØRER TIL BYGGERI I ØVRIGT



Figur 3.14. Leverandører til byggeri i øvrigt. Index 1966 = 1.0 og andele

Tabel 3.9. Ændringer i branchens bruttoenergiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|--------|--------|---------|
| 1966-70 | 3.669 | 2.271 | 5.940 |
| 1970-73 | 1.995 | -3.083 | -1.089 |
| 1973-75 | -1.974 | 3.193 | 1.218 |
| 1975-78 | 2.355 | -1.663 | 692 |
| 1978-80 | -907 | 597 | -328 |

Den markante stigning i energikoefficienten i 1973-75 kan delvis forklares med et kraftigt stigende energiforbrug i træforarbejdningsindustrien. Denne NR-brancher domineres af to virksomheder, Novopan i Djursland og Junckers Industri i Køge. På Novopan igangsættes en ny tørreovn til flydende brændsel i

1974, som efter energikrisen viser sig at være urentabel, hvorfor ældre støvfyr renoveres og sættes i drift, hvilket forklarer en del af faldet i perioden 1975-76. Faldet er endvidere forårsaget af, at træbearbejdningsindustrien får en øget anvendelse af eget affaldstræ som brændsel.

Substitutionsmæssigt ses det af Fig. 3.14, at branchen i slutningen af perioden har øget sin andel af fast brændsel (bl.a. affaldstræ) og elektricitet på bekostning af flydende brændsel, hvis andel er faldet fra ca. 58% i 1975 til knap 50% i 1980.

Branchens udvikling efter 1980

Produktion i branchen vil i vid udstrækning følge udviklingen i byggeriet. Energiforbrugsmæssigt synes der ikke at være de store ændringer inden for branchen, udover løbende besparelser. Substitutionsmæssigt forventes en yderligere langsom forskydning mod fast brændsel (affaldstræ). Endelig er der mulighed for at substituere en del af det flydende brændsel med naturgas.

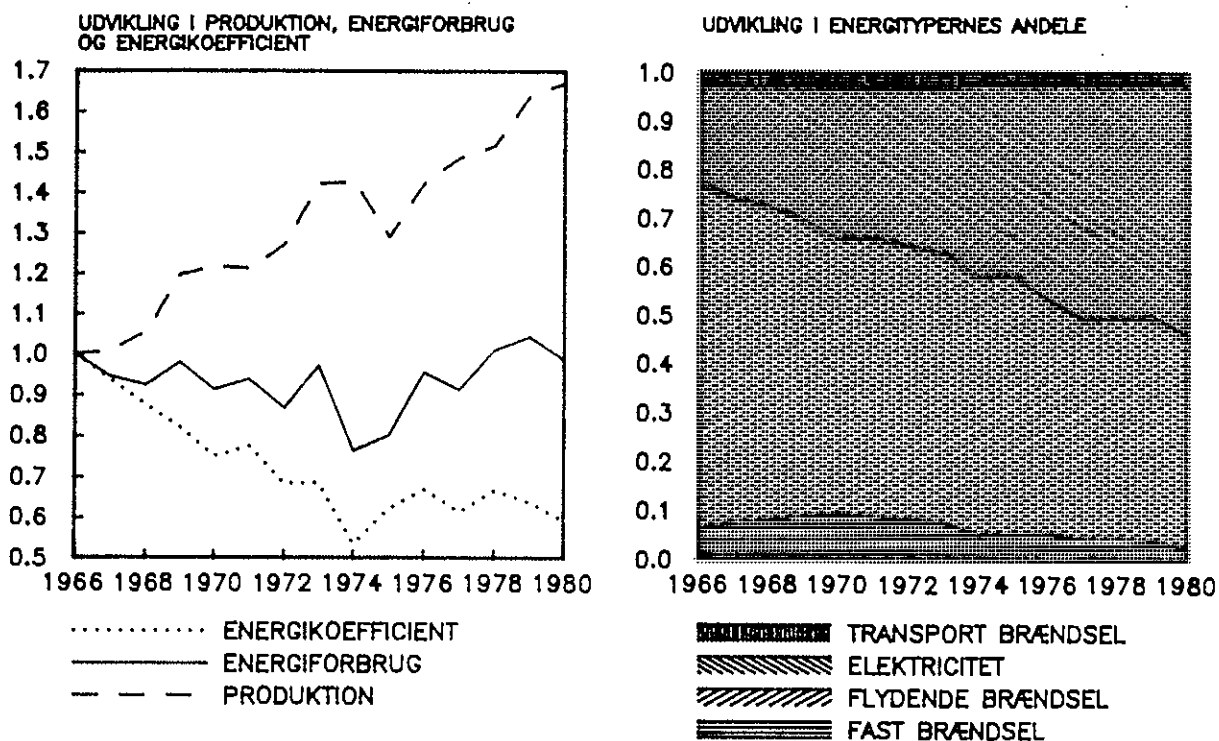
3.3.4. ADAM-branche 4: Jern- og metalindustrien

Jern- og metalindustrien består af modelbrancherne

- a) Jern- og metalværker og -støberier
- b) Jern- og metalvareindustrien iøvrigt.

Produktionsmæssigt udgør "Jern- og metalvareindustrien iøvrigt" langt hovedparten med over 90% af ADAM-branchens samlede produktion, men denne anvender kun ca. 65% af ADAM-branchens samlede bruttoenergiforbrug. Udviklingen i den samlede ADAM-branche er vist på figur 3.15.

JERN- OG METALINDUSTRI



Figur 3.15. ADAM-branche 4. Index 1966 = 1.0 og andele

Jern- og metalværker og -støberier

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Jern- og stålværker", "Jernstøberier", "Metalværker" og "Metalstøberier". Energikoefficienten for modelbranchen er 3.6 i forhold til den samlede industris energikoefficient på 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Modelbranchens produktion og energiforbrug fordeler sig i 1980 på NR-brancher, som følger:

| | Produktion (%) | Bruttoenergi (%) |
|---------------------|----------------|------------------|
| Jern- og stålværker | 46 | 69 |
| Jernstøberier | 18 | 18 |
| Metalværker | 25 | 9 |
| Metalstøberier | 11 | 4 |
| | 100 | 100 |

Modelbranchen er således både produktions- som energimæssigt domineret af "Jern- og stålværker", hvorfor denne NR-branchen vil blive behandlet for sig.

Jern- og stålværker, NR-branchen 68

I den danske stålfremstilling, hvor den energikrævende kemiske reduktion af jernmalm (jernoxid) ikke foregår, er de væsentligste energiforbrugende processer

- smeltning og raffinering af skrot
- genopvarmning og valsning.

Smeltning af stålskrot kan ske på 3 forskellige måder. Ved smeltning under reducerende forhold (overskud af koks) fås et produkt svarende til råjern med ca. 3% kulindhold. Sådan smeltning er i Danmark sket i roterovn og varm-blæst-kupolovn. Råjernet kan anvendes til fremstilling af jernstøbegods eller til stålfremstilling.

Ved smeltning af skrot under iltende omstændigheder, som det foregår i flammeovne, kræves en væsentlig tilsætning af et kulstofholdigt materiale, for at det færdige stål kan have det ønskede kulindhold på 0.1-0.5%. Sådan fremstilling er tidligere sket i Siemens-Martin (S-M) ovne på Det danske Stålvalseværk og flere støberier, under tilsætning af råjern (dansk eller importeret).

Ved smeltning af skrot under neutrale iltningsforhold kan direkte omsmeltes til nyt stål. I Danmark foregår dette i elektriske lysbue- eller induktionsovne.

Indtil 1972 blev en del skrot smeltet til råjern i Ålborg og derefter igen smeltet i S-M ovne i Frederiksværk. Da denne produktion er endeligt standset, bør der i analyserne ses bort fra denne produktion og dens energiforbrug.

Før 1975 blev det meste stål fremstillet i S-M ovne. I 1975 blev et nyt stålværk med elektriske lysbueovne og strengstøbning idriftsat i Frederiksværk. Dette stålværk forsynede pladevalseværket, mens S-M stålværket fortsat forsynede stang- og profilvalseværkerne. Frem til 1980 producerede begge stålværker, hvorefter et strengstøbningsanlæg for materialer til stang- og profilvalsning blev sat i gang, og S-M værket med tilhørende værker blev stoppet. Herefter er al smeltning i Frederiksværk elektrisk lysbue.

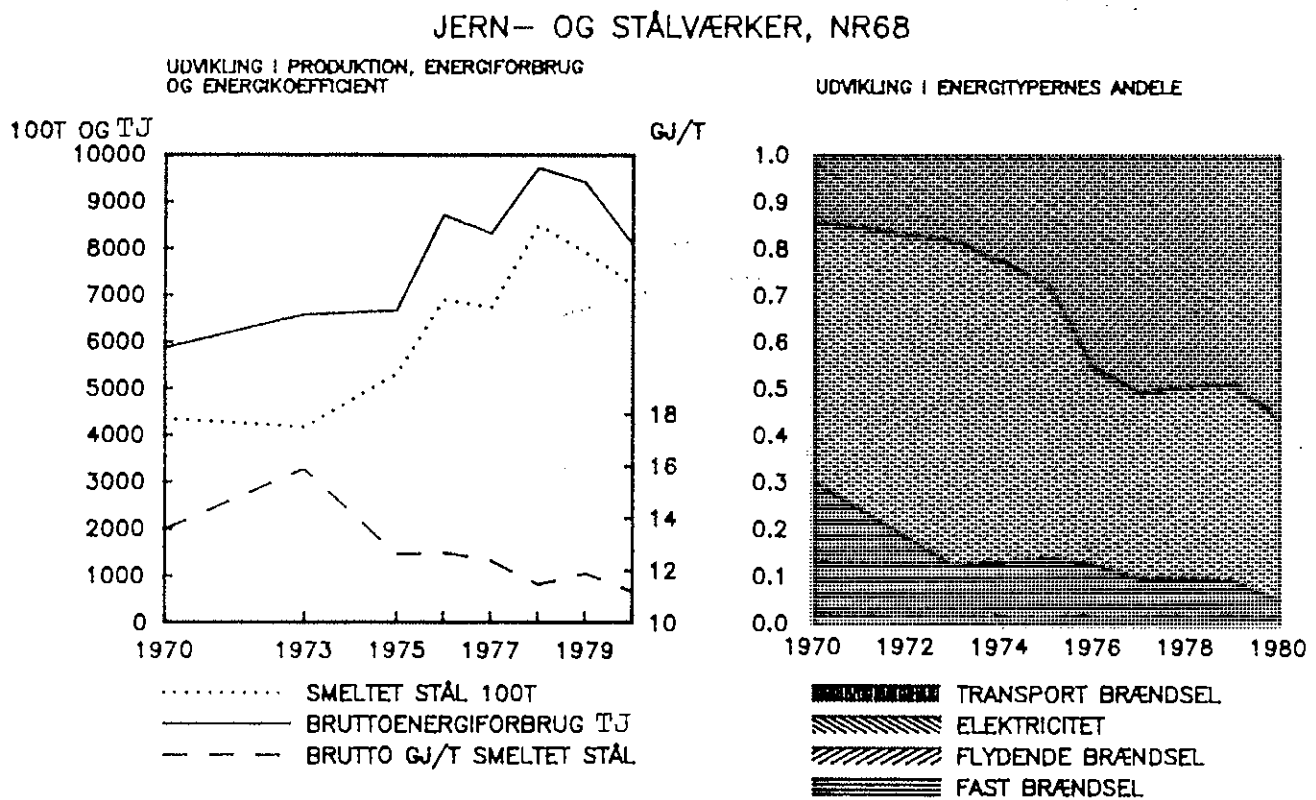
Nettoenergiforbruget ved el-smeltning og strengstøbning fremfor olie-smeltning, blokstøbning, genopvarmning og blokvalsning er kun ca. 1/3. Da forbruget imidlertid samtidig skifter i væsentlig grad fra olie til el, bliver bruttoforbruget kun lidt nedsat.

De udstøbte halvfabrikata genopvarmes i olie- eller nu gasfyrede ovne og varmvalses til færdige produkter, plader, stænger, vinkeljern m.v. Ud over de materialer, der er smeltet på værket, er der valset en meget varierende mængde importerede halvfabrikata, der i perioden 1966-80 har udgjort op til 30% af råstålsbasis for valseværkerne.

NR-branchens udvikling 1966-80

På grund af meget svingende priser på stålprodukter (en fordobling eller halvering af priserne på få måneder) er produktionsværdien i kr. et dårligt mål for energiforbruget, og på grund af den ovenfor nævnte varierende mængde importerede halvfabrikata, der har et meget lavere energiforbrug, er produktionen af færdigt stål i tons heller ikke et godt mål. Som vist på figur 3.16 er der derimod god sammenhæng mellem bruttoenergi-

forbruget for NR-branchen minus det tidligere nævnte forbrug til ekstra smeltning i Ålborg og produktionen af smeltet stål i Frederiksværk.



Figur 3.16. Jern- og stålværker. NR-branche 68, 1970-80.

Udviklingen efter 1980

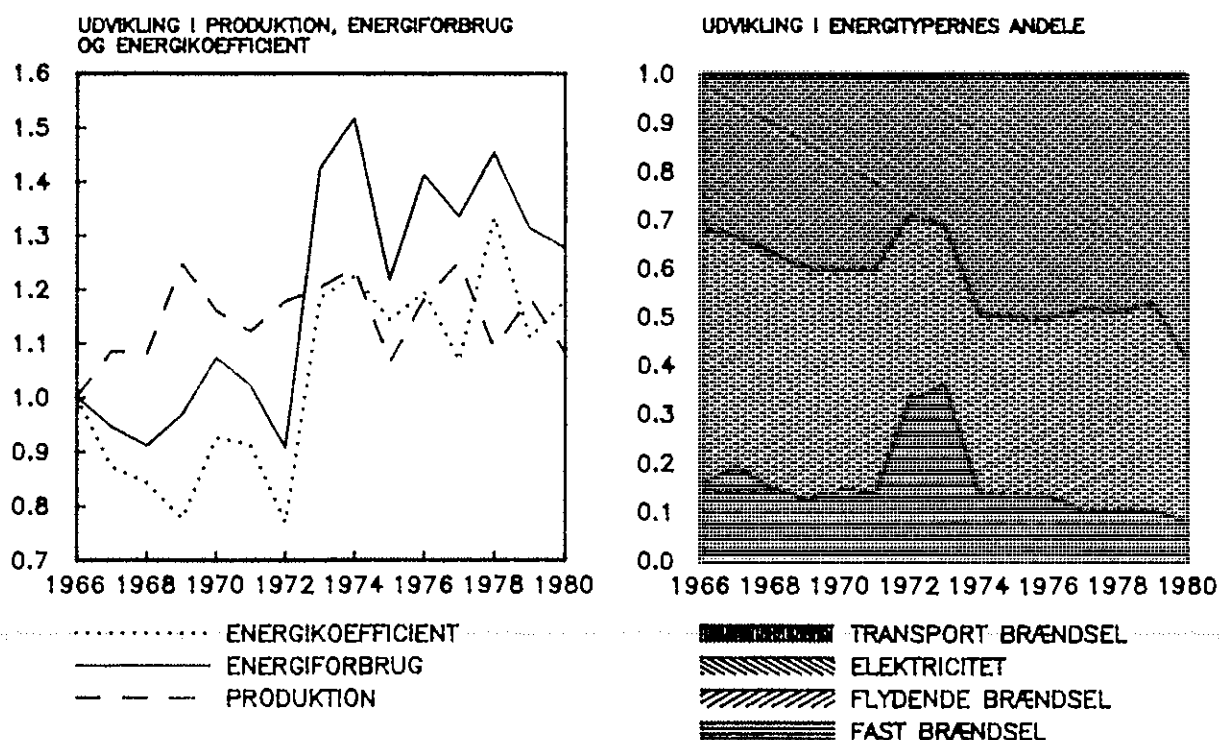
Med lukningen af den gamle stålproduktion vil el-andelen fremover være væsentlig højere og total energikoefficienten lidt lavere. Fast brændselsforbruget falder væk. Størstedelen af olieforbruget er blevet erstattet med naturgas i 1985. I 1980-81 gennemførtes en betydelig varmegenvinding fra el-ovnene, dels til intern varmforsyning, der tidligere var sket fra S-M værket og dels til fjernvarmforsyning af Frederiksværk by. Lukningen af råjernsproduktion på kupolovn med koks i Frederiksværk betyder, at forbruget af fast brændsel efter 1980 vil være negligeribelt i "Jern- og stålværker".

Produktionsvolumet har siden medio 1980 været underkastet den generelle EF-regulering efter artikel 58 om "manifest crisis". Den tilladte produktion vil derfor afhænge af det totale europæiske behov.

Metalværker og jern- og metalstøberier, NR-branche 69, 70, 71

Som det fremgår af figur 3.17, har der været en meget kraftig overgang fra fast og flydende brændsel til el. Dette skyldes en overgang fra kupolovne (koksfyrede) til el-induktionsovne som smelteovne på jernstøberierne samt introduktion af elektriske holdeovne for flydende støbejern. I metalstøberierne er det en erstatning af oliefyrede digelovne med el-opvarmede induktions- og modstandsovne.

METALVÆRKER OG JERN- OG METALSTØBERIER NR 69,70,71



Figur 3.17. Metalværker og jern- og metalstøberier, NR-branche 69, 70, 71. Index 1966 = 1.0 og andele

Da energiforbruget ved kupolovnsmelting er ca. 130 kg koks/t jern ~ 1058 kWh/t, og energiforbruget ved el-smeltning er ca. 650 kWh/t, fås en stigning i bruttoenergiforbruget og dermed af energikoefficienten, når el omsættes til tre gange så meget primær energi. Denne stigning fremgår tydeligt af fig. 3.17. For den rene smeltning fås el ~ 1.6 primær energi, men da der som nævnt også benyttes el til overhedning og varmholdning, er der nærmere en direkte 1:1 substitution mellem el og primær energi.

Produktionsværdien har i perioden 1966-80 været temmelig konstant. Efter 1980 vil den være påvirket af lukningen af Varde Stålværk, Bergsøe og Den kgl. Mønt.

Jern- og metalvareindustrien iøvrigt

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Fremstilling af jern- og metalvarer", "Fremstilling af maskiner", "Fremstilling af el- og teleudstyr", samt "Banemateriale, cykler, knallerter og målingsinstrumenter m.v."

Energikoefficienten for modelbranchen er 0.47 - energikoefficienten for hele industrien er 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Branchens produktion og energiforbrug fordelt på de 4 NR-brancher er i 1980:

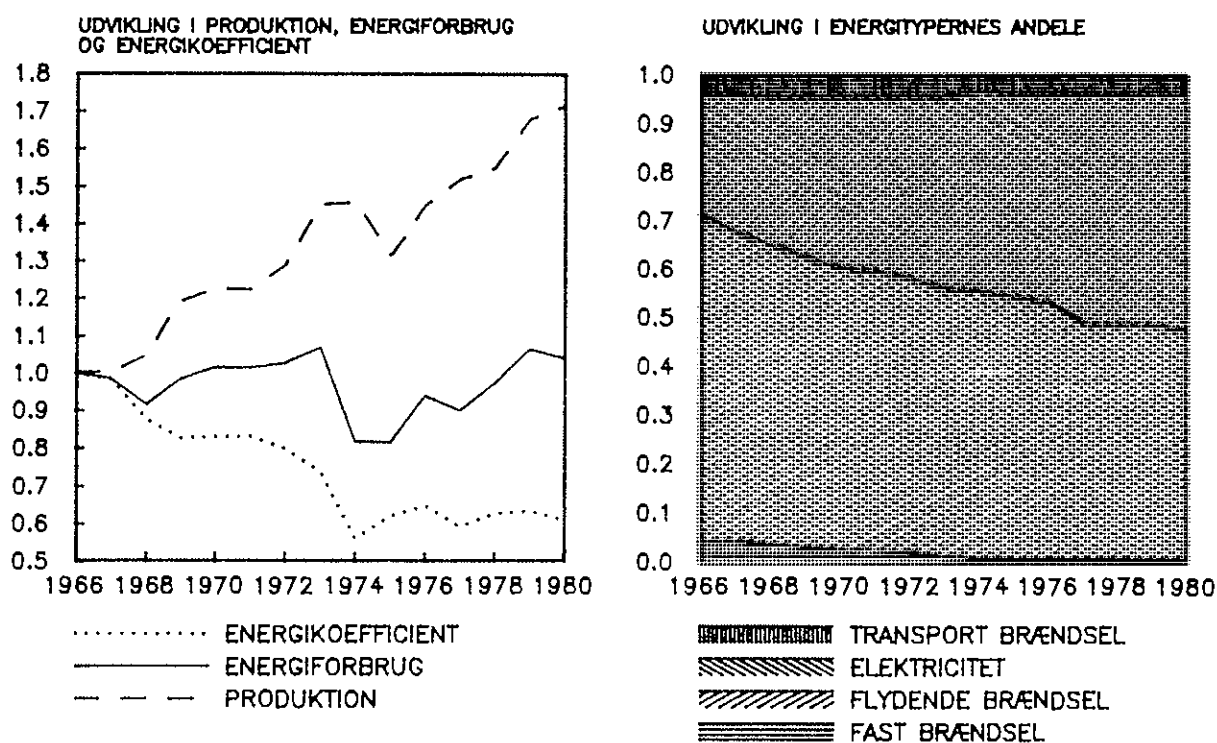
| | Produktion (%) | Bruttoenergi (%) |
|---------------------|----------------|------------------|
| Jern- og metalvarer | 25 | 33 |
| Maskiner | 47 | 42 |
| El- og teleudstyr | 20 | 17 |
| Banemateriale m.v. | 8 | 8 |

Branchen domineres således af "Fremstilling af maskiner" med 47% af produktionen og 42% af energiforbruget.

Branchens udvikling 1966-80

Figur 3.18 viser udviklingen i centrale variable for branchen. Tabel 3.10 viser ændringer i energiforbruget forårsaget af ændret produktion og energikoefficient (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

JERN OG METALVAREINDUSTRI I ØVRIGT



Figur 3.18. Jern- og metalvareindustri i øvrigt. Index 1966 = 1.0 og andele

Tabel 3.10. Ændringer i branchens bruttoenergiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 4.742 | -3.747 | 995 |
| 1970-73 | 4.445 | -3.562 | 883 |
| 1973-75 | -1.205 | -3.445 | -4.651 |
| 1975-78 | 1.898 | 1.050 | 2.947 |
| 1978-80 | 1.918 | -925 | 994 |

Bortset fra perioden 1975-78 er energikoefficienten faldende. Som det ses af figur 3.18, kan stigningen i energikoefficienten i perioden 1975-78 være forårsaget af en besparelsemæssig "overreaktion" under energikrisen i 1973-74. Ses der bort fra den ekstraordinært lave energikoefficient under energikrisen, er energikoefficienten langsomt faldende, primært som en følge af mere energieffektive maskiner, hvis introduktion langt mere er afhængig af den teknologiske udvikling end udviklingen i energipriserne. Dette skyldes, at udgifterne til energi i denne branche udgør en meget lille del, hvorfor kapitalapparatet snarere vil blive udskiftet på grund af teknologisk forældelse end på grund af mulige energibesparelser.

Ser man på energiforbruget fordelt på typer, er der en markant forskydning fra flydende brændsel mod elektricitet. Forbruget af fast brændsel er ubetydeligt.

Branchens udvikling efter 1980

Den samlede branche er karakteriseret af et relativt stort antal mindre virksomheder, hvorfor implementeringen af eventuelle energibesparende foranstaltninger må formodes at forløbe relativt langsomt følgende den teknologiske udvikling.

Branchen er en potentiel aftager af naturgas, primært til substitution af olie til opvarmning og udglødning i produktionen. Endelig må der forventes en fortsat substitution af olie med el.

3.3.5. ADAM-branche 5: Kemisk industri

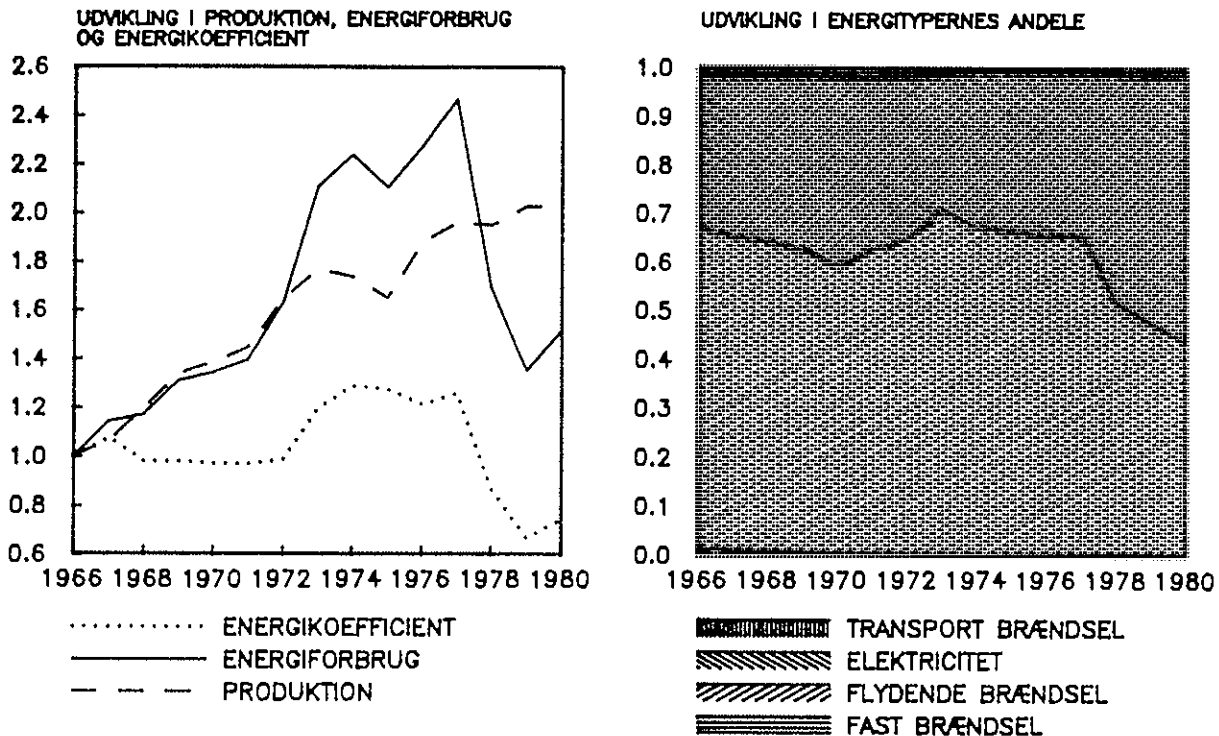
Kemisk industri består af to modelbrancher:

- a) kemiske råstoffer og gødning
- b) kemisk industri iøvrigt.

Produktionsmæssigt udgør kemiske råstoffer m.v. ca. 20% af den samlede ADAM-branches produktion og ca. 47% af bruttoenergifor-

bruget i branchen. Udviklingen i ADAM-branche 5 er vist på figur 3.19. Det meget store energiforbrug i årene 1973-78 forklares under "Kemisk industri iøvrigt".

KEMISK INDUSTRI



Figur 3.19. ADAM-branche 5. Index 1966 = 1.0 og andele

Kemiske råstoffer og gødning

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Fremstilling af kemiske råstoffer" og "Fremstilling af kunstgødning m.v.". Energikoefficienten er 2.39 - for industrien er den 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Branchen er karakteriseret af to store og en lang række mindre og små produktgrupper, som følger:

| | |
|--|-----|
| Gødning | 27% |
| Vitaminer og enzymer | 26% |
| Sprøjtemidler | 6% |
| Farvestoffer | 5% |
| Luftarter (O ₂ -N ₂ -CO ₂ m.v.) | 3% |
| Andet (kemiske råstoffer) | 33% |

Det er endvidere karakteristisk, at branchen udelukkende leverer til andre dele af erhvervslivet, samt at en stor del af varernes energiindhold ikke er tilført i Danmark. Den danske produktion af Ammoniak (NH₃) har således altid været lille og er i 1982 helt ophørt. Branchen er således i højere grad en forædlingsindustri end en egentlig basisindustri, hvilket også ses af, at energikoefficienten kun er ca. dobbelt så høj som for ADAM-branchen.

Udviklingen fra 1966-80

På figur 3.20 er vist udviklingen for væsentlige variable i branchen. Bortset fra et fald i 1974-75 har produktionen været konstant stigende.

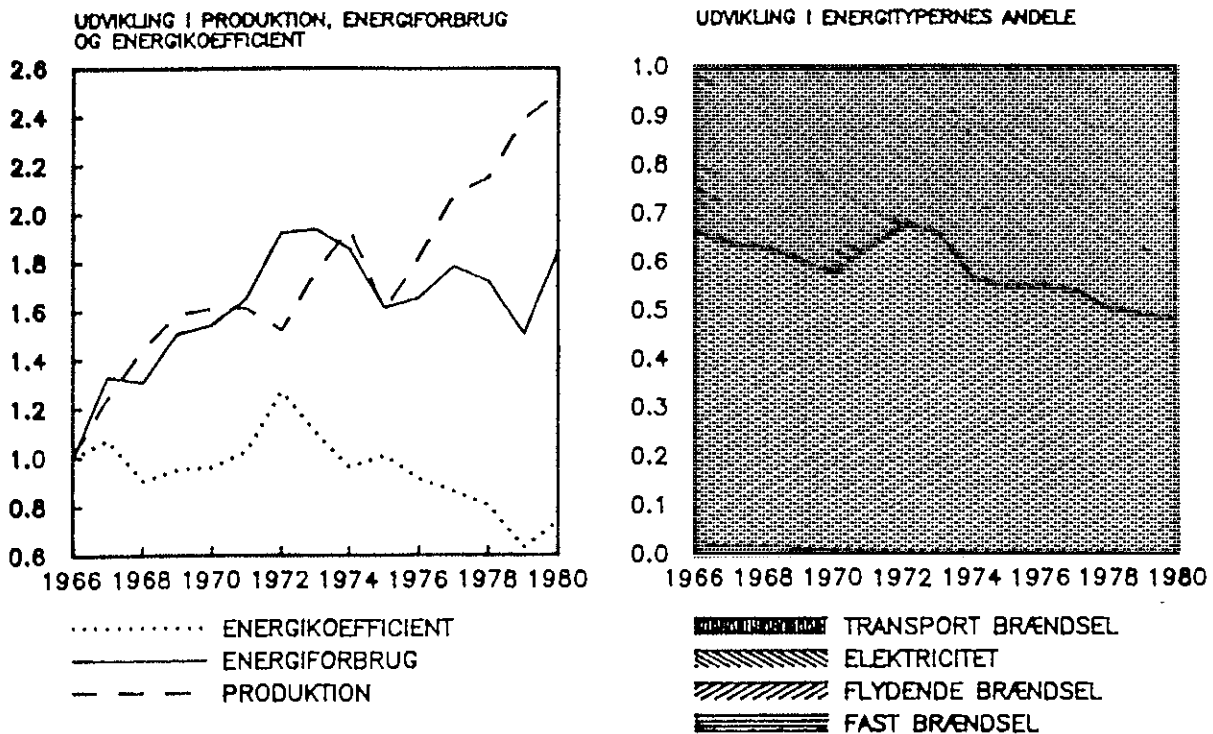
De to dele af branchen, der henholdsvis producerer gødning og kemiske råvarer, har udviklet sig forskelligt gennem årene. Energifkoefficienten for kemiske råvarer har i hele perioden fra 1966-80 været temmelig konstant med

$$3.9 \pm 0.8 \text{ TJ/mill. kr. (75)}$$

hvorimod gødningsindustriens energikoefficient viser to adskilte perioder:

| | |
|---------|---|
| 1966-76 | $5.2 \pm 1.0 \text{ TJ/mill. kr. (75)}$ |
| 1977-80 | $2.6 \pm 0.8 \text{ TJ/mill. kr. (75)}$ |

KEMISKE RÅSTOFFER OG GØDNING



Figur 3.20. Kemiske råstoffer og gødning. Index 1966 = 1.0 og andele

Det er karakteristisk, at faldet indtræder før den anden energiprisstigning, og det kan derfor ses som en forsinket effekt af 1973 prisstigningen. Det skyldes formentlig dels en bedre energidnyttelse med en væsentlig større egenproduktion af el, idet indkøbet af el halveres, og dels en omlægning af produktionen. Den konstante energikoefficient for kemiske råvarer kan dog ikke tages som udtryk for, at branchen har været uændret gennem årene.

Endelig ses en faldende andel af flydende brændsel, samt en stigende andel af el.

Udviklingen efter 1980

Der forventes ingen markante omlægninger i branchen. Det må anses for sandsynligt, at produktionen af enzymer vil stige stær-

kere end andre varer, hvilket vil medføre en faldende energikoefficient. M.h.t. forbruget af de enkelte typer må der forventes en fortsat stigende el-andel. Desuden vil der i denne branche være mulighed for at substituere en del olie med naturgas.

Kemisk industri iøvrigt

Denne modelbranche består af en række NR-brancher, herunder "Fremstilling af basisplast m.v.", "Farve- og lakfabrikker", "Medicinalvarefabrikker", "Vulkaniseringsanstalter", "Gummifabrikker", "Fremstilling af plastvarer", "Guld- og sølvvarefremstilling", samt "Fremstilling af legetøj, fritidsudstyr m.v.". Energikoefficienten for modelbranchen er 0.71, mens den er 0.95 for den samlede industri.

Produktion og proces

Opsplittet på en række hovedgrupper udgjorde branchens produktion og energiforbrug følgende i 1980:

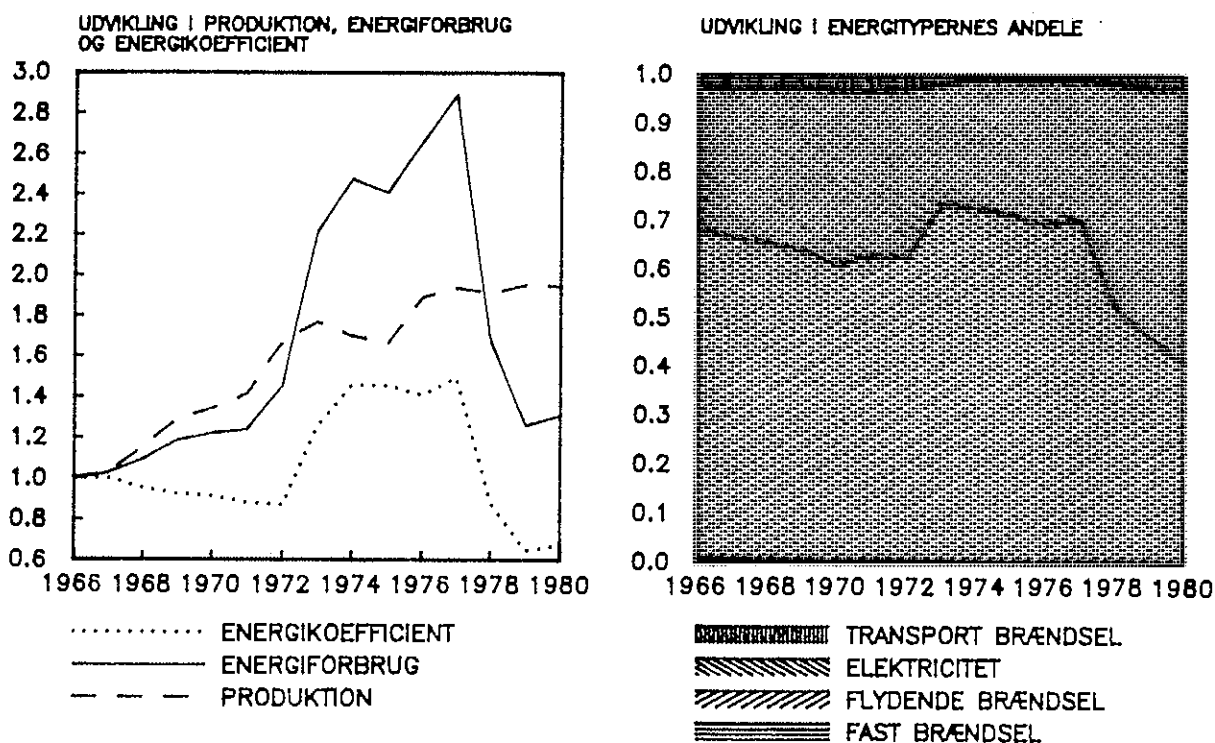
| | Produktion (%) | Bruttoenergiforbrug (%) |
|------------------------|----------------|-------------------------|
| Basisplast m.v. | 17 | 23 |
| Farve, medicinal, sæbe | 40 | 27 |
| Gummiproduktion | 5 | 12 |
| Plastvarer | 21 | 27 |
| Guld, sølv, legetøj | 17 | 11 |
| Ialt | 100 | 100 |

Af overstående tabel fremgår det, at samtlige NR-brancher er nogenlunde lige energiintensive. Til de anvendte processer i denne branche bruges næsten udelukkende flydende brændsel og el.

Branchens udvikling 1966-80

Figur 3.21 viser udviklingen i centrale variable for branchen.

KEMISK INDUSTRI I ØVRIGT



Figur 3.21. Kemisk industri i øvrigt. Index 1966 = 1.0 og andele

I tabel 3.11 ses ændringerne i branchens energiforbrug opsplit-
tet på ændret produktion og energikoefficient (forklaring: se
note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.11. Ændringer i branchens bruttoenergiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|--------|--------|---------|
| 1966-70 | 3.637 | -1.868 | 1.769 |
| 1970-73 | 4.791 | 2.130 | 7.922 |
| 1973-75 | -1.645 | 3.139 | 1.494 |
| 1975-78 | 3.717 | -9.545 | -5.827 |
| 1978-80 | 859 | -3.753 | -2.893 |

Som det ses af tabel 3.11, er der kraftige fluktuationer i branchens energikoefficient. Den store stigning i energikoefficienten i perioden 1973-75 skyldes, at Pyrolyseværket statistisk blev flyttet fra "Olieraffinaderier" til "Fremstilling af basisplast" i 1973. Værket ophørte med at producere i 1977-78, og dette er årsagen til det drastiske fald i energikoefficienten i denne periode. I tabel 3.12 er opstillet energikoefficienter for undergrupper af branchen, hvor Pyrolyseværket er udskilt fra gruppen "Basisplast".

Tabel 3.12. Energifkoefficienter for undergrupper i Kemisk industri - rest

| Basisplast: | 70 | 73 | 75 | 78 | 80 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| med Pyrolyseværket | 3.46 | 6.05 | 8.03 | 1.83 | 1.29 |
| uden Pyrolyseværket (skønnet) | 3.46 | 3.16 | 2.92 | 1.83 | 1.29 |
| Farve-, medicinal- og sæbe m.v. | 1.11 | 0.90 | 0.80 | 1.49 | 0.64 |
| Fremstilling af gummiprodukter | 2.83 | 2.92 | 2.17 | 1.65 | 2.07 |
| Fremstilling af plastvare | 1.27 | 1.03 | 1.66 | 1.34 | 1.45 |
| Guld og sølv, legetøj m.v. | 0.68 | 0.54 | 0.55 | 0.46 | 0.84 |

Det ses, at energikoefficienten for "Basisplast" - uden Pyrolyseværket - er faldende i den betragtede periode. Forklaringen på dette må søges i, at der umiddelbart efter Pyrolyseværkets lukning er sket en stor og vedvarende årlig stigning i importen af basisplast primært polyethylen (1977/78 22% stigning i importen, 1978/79 65% stigning og 1979/80 24%). Dette kunne tyde på, at den energi-intensive basisplast, polyethylen, importeres, mens mindre energi-intensive typer af basisplast fortsat produceres i Danmark.

Energifkoefficienten svinger meget i undergruppen "Farve-, medicinal- og sæbefremstilling". Årsagen hertil findes primært i medicinalvarefremstillingen og skyldes, at Danmark i begyndelsen af 1970'erne har importeret de i medicinalvarefremstillingen medgående energikrævende aktive råstoffer, men at specielt

Grindstedværket omkring 1977/78 forsøgte at gøre en produktion af disse stoffer, især vitaminer, rentabel. Dette mislykkedes på grund af skarp konkurrence fra udenlandske producenter, hvorfor Grindstedværket 1979/80 stoppede produktionen af omtalte medicinalvarer.

Substitutionsmæssigt er branchen præget af en øget el-andel og en klart faldende andel for flydende brændsel.

Udviklingen efter 1980

Branchen består af en række ret forskellige virksomheder, hvilket medfører, at energibesparelser vil have en successiv indtrængning og i vid udstrækning følger den teknologiske udvikling. Der må forventes en fortsat substitution af olie med el. En hel del af olieforbruget kan erstattes af naturgas.

3.3.6. ADAM-branchen 6: Anden fremstillingsvirksomhed

Anden fremstillingsvirksomhed består af modelbrancherne:

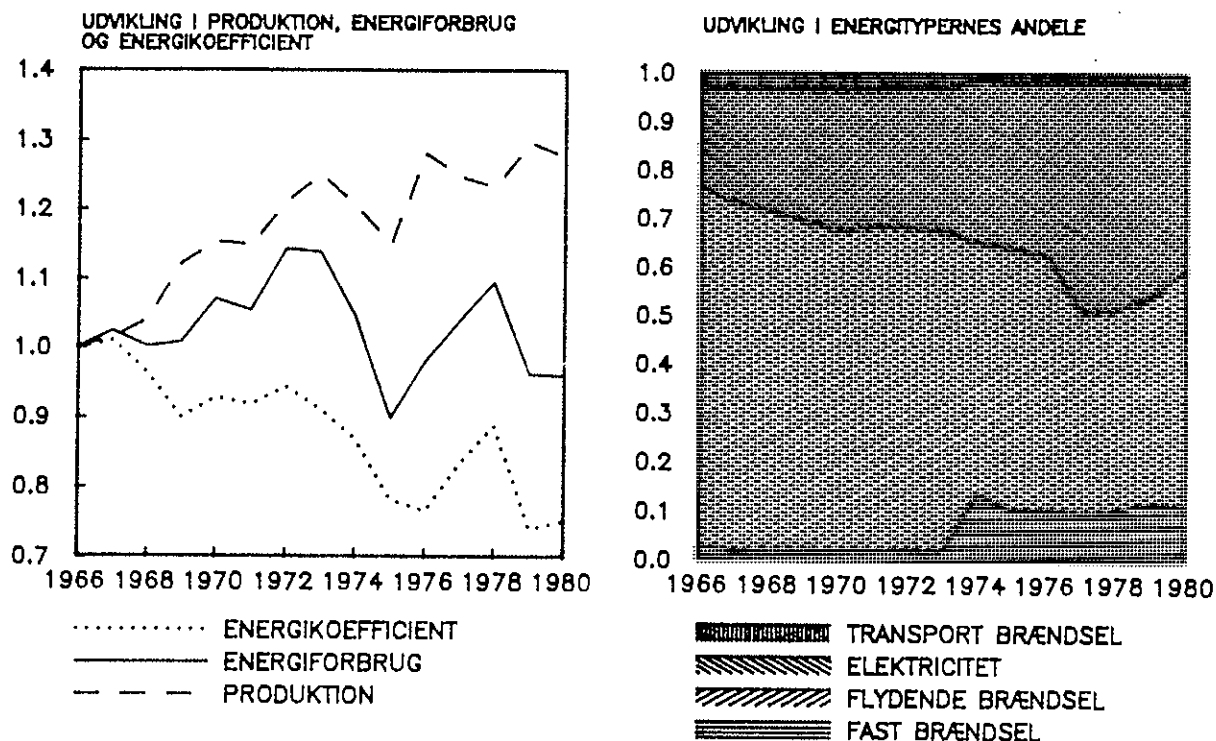
- a) Papir- og papfabrikker
- b) Keramik og glasfremstilling
- c) Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt.

Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt udgør ca. 92% af ADAM-branchens produktion, men kun ca. 60% af energiforbruget.

"Papir- og papfabrikker" har godt 3% af produktionen og knap 23% af energiforbruget. Endelig udgør "Keramik og glas" ca. 5% af produktionen og godt 17% af energiforbruget.

Udviklingen i væsentlige variable for "Anden fremstillingsvirksomhed" er vist på figur 3.22.

ANDEN FREMSTILLINGSVIRKSOMHED



Figur 3.22. ADAM-branche 6. Index 1966 = 1.0 og andele

Papir- og papfabrikker

Denne modelbranche består af NR-branchen "Papir- og papfabrikker". Energikoefficienten for branchen er 5.84 (TJ/produktion i mio. 1980-kr.), sammenholdt med industriens 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Produktionen i "Papir- og papfabrikker" kan opsplittes i relativt få hovedprodukter (1980):

| | |
|-------------|-----|
| Trykpapir | 50% |
| Kraftpapir | 14% |
| Andet papir | 35% |
| Øvrigt | 1% |

Produktionen må karakteriseres som rimelig homogen, idet hovedparten af ovennævnte produkter produceres på nogenlunde samme måde. Kun knap 1% af produktionen skiller sig ud ved at omfatte diverse andre produkter.

Formålet med papir- og papfabrikker er primært at konvertere faststof i form af cellulose og genbrugspapir til diverse former for papir.

Generelt produceres papir og pap i Danmark på basis af importeret cellulose - dog fremstilles der lidt cellulose herhjemme, bl.a. på Fredericia Cellulosefabrik. Der anvendes ligeledes en hel del returpapir.

Den finmalede cellulose tilsættes vand, og gennem mekanisk bearbejdning fremkommer en papirmasse med 0.5% tørstof. En del af vandet, der tilsættes i denne proces, er recirkuleret fra senere dele af papirfremstillingsprocessen og indeholder en del papirfibre. Den fremkomne papirmasse ledes ud på net-sektionen, hvis funktion er at forme papiret og fjerne en del af vandet, som recirkuleres jf. ovenstående. Tørstofindholdet forøges herved til ca. 20%. Papiret føres herefter gennem en rullemaskine, hvor der under højt tryk bortpresses mere vand. Tørstofindholdet forøges til 35-40%. Endelig tørres papiret, idet det køres igennem en række cylindre, der er opvarmet til høj temperatur. Slutproduktets tørstofindhold er nu 92-96%, afhængig af kravene til papiret.

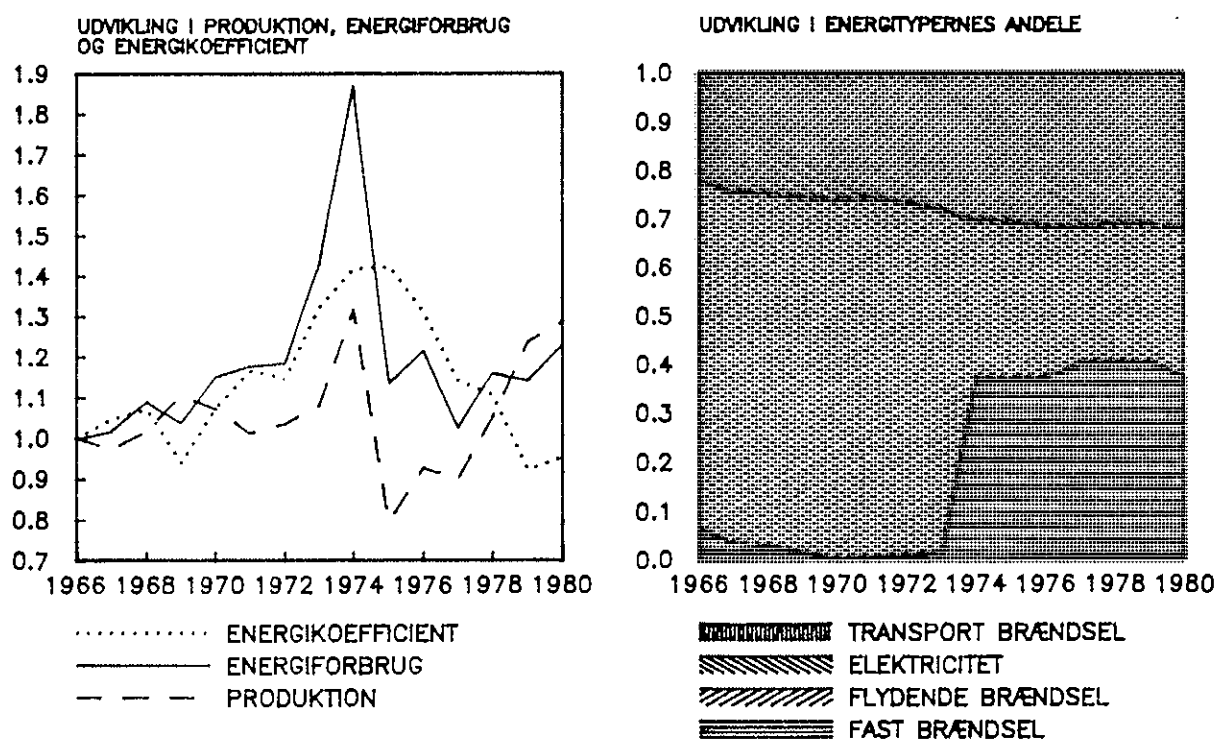
De vigtigste processer ved papirfremstilling udgøres således af formaling, presning og tørring, af hvilke tørring energimæssigt er langt den dominerende del (75-80%). Til tørring anvendes næsten udelukkende proces-damp - hvoraf næsten 90% anvendes i selve processen til opvarmning af tørrecylindre.

Virksomhederne har eget kedelanlæg til fremstilling af procesdamp ved anvendelse af kul eller olie, og i de fleste tilfælde føres dampen gennem en turbine for egenproduktion af elektricitet.

Branchens udvikling 1966-80

Figur 3.23 viser udviklingen i centrale variable for "Papir- og papfabrikker" i tidsperioden 1966-80. Som det ses heraf, har produktionen målt i faste priser (1980-priser) været næsten konstant frem til 1974, hvor der i forbindelse med oliekrisen skete et kraftigt produktionsfald. Perioden 1975-80 er karakteriseret ved en ret kraftig men jævnt stigende produktion svarende til godt 7% p.a. Dog først ved slutningen af denne periode kom produktionen op på samme niveau som i 1974.

PAPIR- OG PAPFABRIKKER



Figur 3.23. Papir- og papfabrikker. Index 1966 = 1.0 og andele

Bruttoenergiforbruget har i perioden 1966-80 været næsten konstant, dog med undtagelse af en markant top i 1974. Energiefficienten fremviser en svag stigning frem til 1974-75 og derefter et jævnt fald.

Udviklingen i branchens energiforbrug er nøjere analyseret i tabel 3.13 (forklaring se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.13. Ændringer i branchens energiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 307 | 399 | 706 |
| 1970-73 | -5 | 1.309 | 1.303 |
| 1973-75 | -1.747 | 366 | -1.381 |
| 1975-78 | 1.620 | -1.501 | 1.191 |
| 1978-80 | 1.250 | -918 | 332 |

Som det ses heraf, har energikoefficienten været stigende frem til 1975 - herefter begynder den at falde ganske kraftigt. Faldet i energiforbruget i perioden 1973-75 må udelukkende tilskrives et fald i produktionsvolumet.

Den faldende energikoefficient efter 1975 skyldes primært en løbende udvikling. Der er foretaget en omlægning af produktionen over mod bedre kvaliteter af papir, hvilket har forøget den effektive køretid på papirmaskinerne p.g.a. en mere "kørbar" produktion - altså en bedre kapacitetsudnyttelse og dermed en faldende energikoefficient. Presningsprocessen er blevet mere effektiv, hvorfor en mindre del af vandet skal fjernes i tørreprocessen. Yderligere er der sket en optimering af hele fremstillingsprocessen - bedre styring af kedler og papirmaskiner og til en vis grad indførelse af varmegenvinding. Endelig kan en stigende andel af genbrugspapir i perioden være en omend mindre betydende faktor for den faldende energikoefficient.

Mest karakteristisk for branchen er dog overgangen til kul i 1973-74. Denne overgang blev primært muliggjort af, at de eksisterende kedler tidligere havde været kulfyret, hvorfor det ikke krævede nogen stor ombygning at føre dem tilbage til det tidligere anvendte brændsel. En hurtig omstilling var så-

ledes mulig og medførte, at over halvdelen af branchen anvendte kul som hovedbrændsel. Det synes dog, som om omstillingen til kul medførte en kortvarig forøgelse af det samlede energiforbrug i papirfabrikkerne, eventuelt til opbygning af kul-lager. Kuls andel i det samlede energiforbrug har været næsten konstant ca. 37% i perioden 1975-80.

Karakteristisk for de enkelte brændselstyper er, at energikoefficienten for disse i perioden 1975-80 udviklingsmæssigt følger den totale energikoefficient. Dette tyder på, at kapaciteten på kedler o.l. gennem hele perioden udnyttes fuldt ud, og de løbende energimæssige forbedringer giver sig udslag i en højere produktion, hvilket således medfører en generelt lavere energikoefficient ved næsten konstant energiforbrug.

Branchens udvikling efter 1980

I de seneste år har de mest betydende energibesparende foranstaltninger fundet sted inden for styring og regulering. Således er kedler blevet udstyret med micro-processorer, der regulerer forbrændingen efter produktionsgangen. For tørreprocessen er der indført vægt- og fugtighedsstyring, hvilket medfører en mindre margin til fugtighedsgrænsen (kravet til max. fugtighed i papiret) og dermed et lavere energiforbrug til tør-ring. Der har fundet en yderligere udbygning af varmegenvinding sted, bl.a. udnyttelse af varmen fra kedlernes røggasser.

Den fremtidige udvikling må forventes primært at bestå i en løbende optimering af produktionsgangen. En effektivisering af den mekaniske bearbejdning i formalingsprocessen, optimering af pumpearbejdet gennem indførelse af frekvensomformere samt en forbedret presseteknik (op til 3 gange så hård en presning) er nogle af mulighederne. Slutteligt synes der at være et vist potentiale for anvendelse af naturgas inden for denne branche.

Keramik og glas

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Fremstilling af porcelæn og keramik" og "Glasværker og glasbearbejdning". Energikoefficienten for modelbranchen er 2.73 - energikoefficienten for den samlede industri er på 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Produktions- og procesmæssigt er de to NR-brancher ret forskellige, hvorfor de vil blive beskrevet separat. Produktionsmæssigt er glasbranchen i 1980 cirka dobbelt så stor som porcelæns- og keramikbranchen, mens energiforbruget er ca. 4 gange så stort.

I porcelæns- og keramikbranchen kan produktionsværdien i 1980 opsplittes i:

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Statuetter, dekorationer | 58% |
| Bordservice, husholdnings- og toilet- | |
| artikler af porcelæn | 27% |
| Diverse fra keramikbranchen | 15% |

Fællestræk for virksomhederne i porcelæns- og keramikbranchen er, at ler forarbejdes i våd tilstand, hvorefter det tørres og brændes. Eventuelt glaceres varen og dekoreres på anden vis, for derefter igen at brændes. Brændingen foregår i ovne ved temperaturer fra 800-900°C til 1400-1500°C, afhængig af hvilket produkt der fremstilles, idet fremstilling af porcelæn kræver den højeste temperatur.

NR-branchen er domineret af to store virksomheder, Den Kongelige Porcelænsfabrik og Bing og Grøndahl, der stod for ca. 3/4 af produktionen og forbrugte godt halvdelen af NR-branchens bruttoenergiforbrug i 1980.

Fordelingen af energiforbruget ser for keramik- og procelænsbranchen ud som følger:

| | |
|------------------|-----|
| Brænding | 65% |
| Tørring | 20% |
| Rumopvarmning | 5% |
| El ikke brænding | 10% |

For glasværker og glasbearbejdning kan produktionsværdien i 1980 opsplittes på:

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Blyindfattede ruder, isolationsruder | 37% |
| Flasker, diverse beholdere | 26% |
| Planglas, trukket eller blæst | 13% |
| Drikkeglas, husholdningsglas | 6% |
| Diverse fra glasbranchen | 18% |

Denne NR-brancher er også domineret af to store virksomheder, Kastrup og Holmegårds glasværker og Scanglas i Korsør, der stod for ca. 2/3 af produktionen og forbrugte ca. 85% af brutto-energiforbruget i 1980.

Den i 1980 største varegruppe isolationsruder udmærker sig ved, at der til produktionen næsten ingen energi kræves, da produktionen blot består i at samle ruderne. Den brugte elektricitet var 13 TJ netto i 1983. Fremstillingen af isolationsruder har gennemløbet en hurtig udvikling - siden starten i 1969 er produktionen mere end tredoblet, med den største stigning frem til 1976.

Produktionen af glasbeholdere var i 1966 ca. 300 mill. stk. Fra 1966 til 1973 var produktionen stigende, men efter kulminationen i 1973 med ca. 575 mill.stk. har produktionen været faldende frem til 1978, hvor produktionen var ca. 420 mill.stk. Siden har den holdt sig konstant frem til 1983. Kulminationen i 1973 og den faldende produktion i perioden derefter kan forklares ved indførelse af forbud mod engangs-emballage, og at retursystemet for flasker er blevet stadig mere effektivt, i takt med at prisen på flasker er steget.

Fremstillingen af glasbeholdere foregår som følger:

Råvarerne består af vand, kalk, soda, andre kemikalier samt farvestoffer. Herudover iblandes skår. Denne masse opvarmes i ovnene til ca. 1150°C, hvorefter den i forehearth opvarmes til den for den videre bearbejdning korrekte temperatur. Ovnene er oliefyret, og forbrændingsluften forvarmes i recuperatorer.

I flaskemaskinen blæses glasmassen til den ønskede form ved hjælp af trykluft, der leveres fra en fælles trykluftcentral for hele anlægget. Fra flaskemaskinen føres de færdigblæste flasker ved hjælp af opvarmede transportbånd til kølerørene, der giver en jævn afkøling. Ved indgangen til kølerørerne er temperaturen ca. 450°C.

Energiforbrugets fordeling på anlægget er som følger:

| | |
|---------------------------|-----|
| Smeltning og varmholdning | 93% |
| Flaskemaskiner | 4% |
| Kølerør | 2% |
| Pakning | 1% |

Nettoenergiforbruget til dette automatiske anlæg fordeler sig med 85% olie, 10% el og 5% gas.

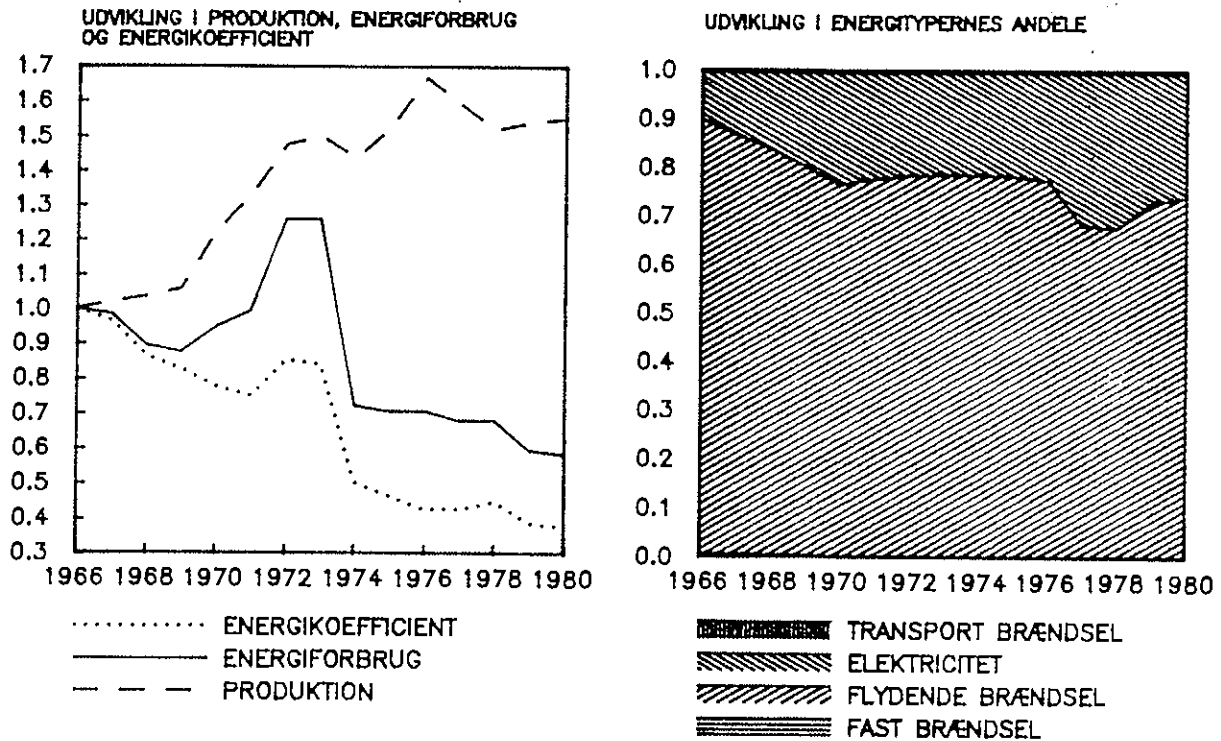
Til ovnenes drift bruges ca. 96-97% (svær fuelolie og resten elektricitet (netto)).

Energiforbruget pr. tons smeltet glas er meget afhængig af den mængde glas, der smeltes. Desto større mængde smeltet glas, desto mindre energiforbrug pr. tons, d.v.s. at en maksimal udnyttelse af ovnens kapacitet giver den billigste produktion.

Modelbranchens udvikling 1966-80

Figur 3.24 viser udviklingen i væsentlige variable for branchen.

KERAMIK, PORCELÆN OG GLAS



Figur 3.24. Keramik og glas. Index 1966 = 1.0 og andele

Som det fremgår af figur 3.24, var der en svag stigning i produktionen frem til 1969, som skyldtes bl.a. en stigning i produktionen af statuetter og dekorationsgenstande af porcelæn. Stigningen i denne produktion ophørte i 1971-72, hvorefter produktionen af denne varegruppe stort set har været konstant.

Den kraftige stigning efter 1969 skyldtes, at der blev startet en produktion af planglas i 1969-70. Planglasproduktionen var derefter stort set konstant frem til 1974, toppede i 1976 og ophørte i 1982. Samtidig har der været den tidligere beskrevne stigning i produktion af glasbeholdere frem til 1973.

Tabel 3.14 viser ændringer i branchens energiforbrug forårsaget af ændret produktion og energikoefficient (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

Tabel 3.14. Ændringer i keramik- og glasbranchens energiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1966-70 | 1.607 | -1.982 | -375 |
| 1970-73 | 2.397 | -87 | 2.310 |
| 1973-75 | 133 | -4.252 | -4 119 |
| 1975-78 | -168 | -18 | -191 |
| 1978-80 | 205 | -928 | -722 |

Som det ses af tabel 3.14, har produktionsstigninger givet anledning til forøget energiforbrug primært frem til 1973, og ændringer i energikoefficienten har betydet væsentlige besparelser i perioderne 1966-70, 1973-75 og 1978-80.

Effekten af produktionsændringen skyldes de før omtalte stigninger i produktionen.

Med hensyn til effekten af ændrede energikoefficienter må besparelserne i perioden 1966-70 primært tilskrives lukning af gamle produktionsanlæg som følge af sammenslutningen af Hellestrup og Holmegaards Glasværk. De store besparelser i perioden 1973-75 må dels forklares ved en generel bedre styring af energiforbruget og dels ved lukning af ovne på Kastrup Glasværk.

Af figur 3.24 ses det, at flydende brændsel udgør langt den største men faldende andel, idet besparelserne primært har været på olieforbruget.

Udviklingen efter 1980

I 1982 ophørte produktionen af planglas i Korsør. Dette har en væsentlig indflydelse på energiforbruget i glasbranchen, der herefter helt vil være domineret af produktionen af glasbeholdere. På Holmegård Glasværk er man endvidere overgået til naturgas, der helt skal erstatte forbruget af svær fuelolie.

Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt

Denne modelbranchen består af en lang række NR-brancher, der bl.a. omfatter tekstil-, lædervare-, møbel-, og trykkerivirksomheder. Branchens energikoefficient er i 1980 på 0.50 (TJ/produktion i mio. 1980-kr.). Den samlede industri har en energikoefficient på 0.95 i 1980.

Produktion og proces

Modelbranchen er karakteriseret af at være relativ stor og sammensat af en række noget forskellige, men ikke specielt energintensive virksomheder.

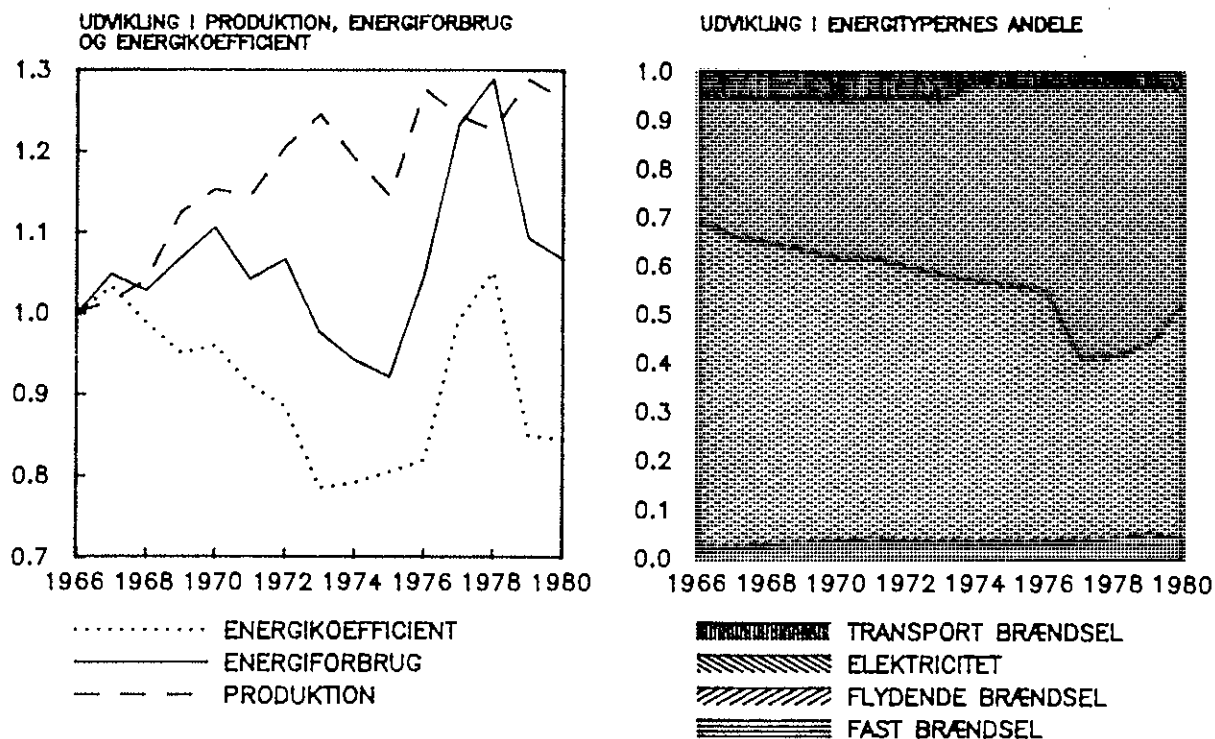
I energimæssig henseende er de væsentlige NR-brancher: "Spindrier, væverier og tæppefremstilling" samt "Fremstilling af lædervarer eksklusiv fodtøj", der forbrugte ca. 40% af branchens totale energiforbrug. Videre kan fremhæves, at "Beklædningsfremstilling" anvendte ca. 11% af den totale energimængde, og at "Papiremballage og tapetfremstilling m.v." anvendte ca. 22%. På grund af branchens heterogene karakter vil der ikke blive forsøgt udarbejdet en procesbeskrivelse.

Branchens udvikling 1966-80

Som det fremgår af figur 3.25, der viser udviklingen i forskellige centrale variable, er "Anden fremstillingsvirksomhed" iøvrigt karakteriseret af en pæn stigende produktionsudvikling i den betragtede periode.

Tabel 3.15 viser ændringer i branchens bruttoenergiforbrug forårsaget af ændringer i produktion og energikoefficient (forklaring: se note til tabel 3.2 s. 28).

ANDEN FREMSTILLINGSVIRKSOMHED IØVRIGT



Figur 3.25. Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt. Index = 1.0 og andele

Tabel 3.15. Ændringer i branchens energiforbrug

| TJ | Δ pv | Δ ek | Δ total |
|---------|-------|--------|---------|
| 1966-70 | 2.511 | -1.007 | 1.504 |
| 1970-73 | 1.373 | -3.216 | -1.842 |
| 1973-75 | -840 | 59 | -785 |
| 1975-78 | 727 | 4.495 | 5.222 |
| 1978-80 | 673 | -3.835 | -3.162 |

Som det ses af figur 3.25 og tabel 3.15, har energikoefficienten været faldende eller næsten konstant i alle delperioder, med undtagelse af perioden 1975-78.

De meget store energikoefficienter i årene 1977-78 skyldes i al væsentlighed en næsten tidobling af energiforbruget i offset trykkerierne i de år. Stigningen er primært i elforbruget, der i disse år er forøget med næsten 50%.

Med hensyn til udviklingen i de enkelte energityper kan der konstateres en jævn forskydning fra olie til el samt en svag stigning i andelen for fast brændsel. Stigningen i fast brændsel må tilskrives, at træforarbejdningens virksomheder i stor udstrækning er gået over til at anvende træaffald som brændsel.

Branchens udvikling efter 1980

På grund af branchens heterogene karakter må det forventes, at energibesparelser løbende vil blive indført og i vid udstrækning følge den teknologiske udvikling.

Med hensyn til elektricitetsforbruget må den midlertidige top i årene 1977-78 betragtes som en engangsforeteelse, således at trenden i elektricitetsforbruget må forventes at fortsætte.

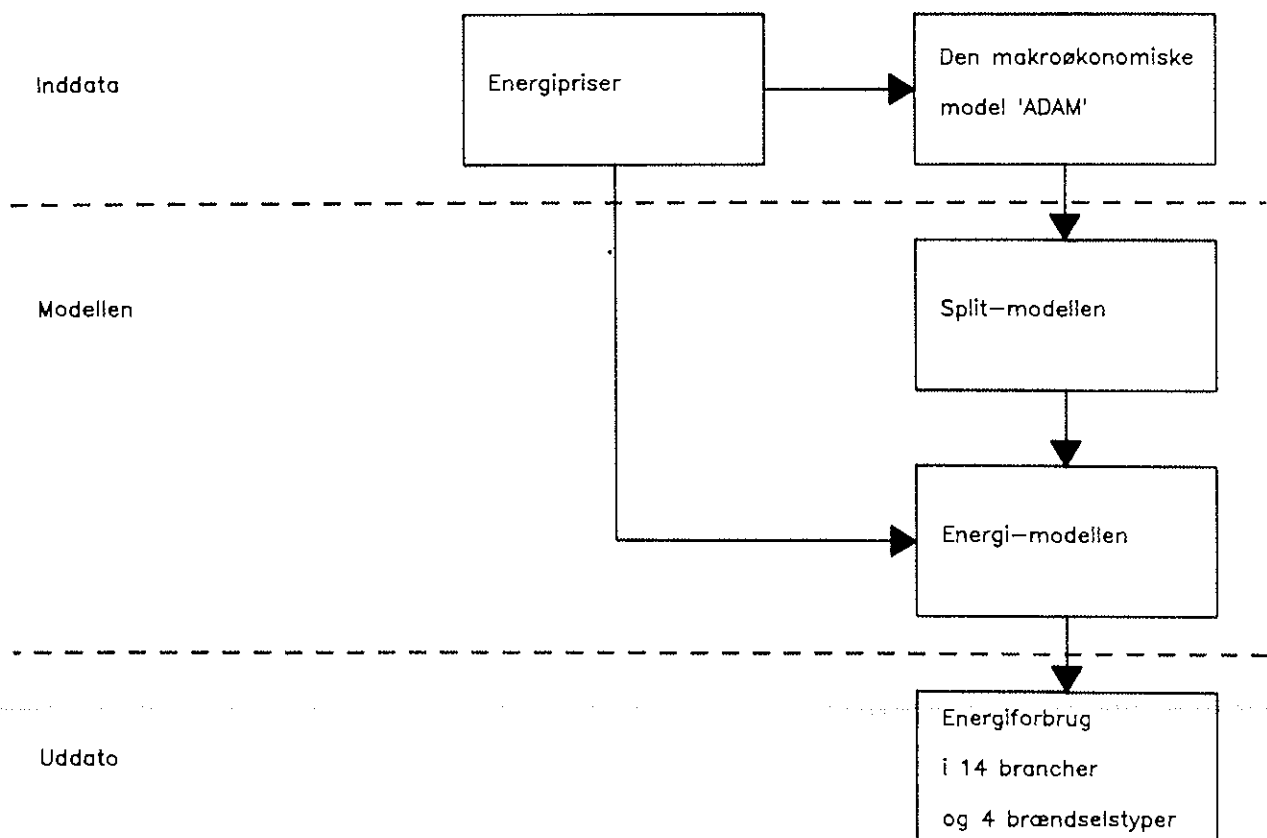
Videre må det, afhængigt af oliepriserne, antages, at substitutionen mellem olie og elektricitet vil fortsætte, samt at primært træ- og møbelindustrien vil øge sit forbrug af fast brændsel. Dette bekræftes af de nyeste tal fra Danmarks Statistik, hvor træ- og møbelindustrien reducerede sit forbrug af flydende brændsel med 43% i perioden 1980-83, samtidig med at forbruget af fast brændsel steg med 37%.

4. MODELLEN

4.1. Indledning

Overordnet kan modellen karakteriseres som en økonometrisk model, der konverterer en prognose for den samfundsøkonomiske udvikling til en prognose for industriens energiforbrug opdelt på de 14 brancher og 4 energityper, der er defineret i kapitel 2. Modellens primære formål er således at give en rimelig og for-
tolkelig prognose for energiforbrugets udvikling.

Modellens overordnede struktur kan kort beskrives ved følgende figur:



Figur 4.1. Modellens overordnede struktur

Den grundlæggende samfundsøkonomiske udvikling beskrives v.hj.a. fremskrivninger af ADAM, hvilket betyder, at modellen kan opfattes som en sub-model til ADAM. En fordel ved denne opbygning er, at modellen som grundlag anvender en officiel prognose for den økonomiske udvikling og iøvrigt koncentrerer sig om de energimæssige aspekter af industriens udvikling. En væsentlig ulempe er, at der ved denne sub-modelopbygning ikke tages højde for en tilbagekobling fra energiforbrugets udvikling til den økonomiske udvikling. For at tage højde for denne kobling kræves enten, at energi inkorporeres som en del-model, der løses simultant med den økonomiske model, eller at de 2 modeller simuleres interaktivt indtil prognoserne konvergerer.

Da energimodellen opererer med 14 brancher, mens ADAM kun opererer med 6 industribrancher, er de 2 modeller koblet sammen v.hj.a. en simpel split-model, der transformerer økonomiske variable prognostiseret i ADAM til branche-niveauet anvendt i energimodellen. Denne split-model gennemgås nærmere i afsnit 4.2. Foruden økonomiske variable prognostiseret i ADAM indgår i energimodellen en række variable, for hvilke udviklingen bestemmes udfra andre prognoser eller ved at antage en udvikling. Den væsentligste af disse er energiprisen, der bestemmes udfra Energiministeriets energiprisprognose.

Ved specifikationen af energimodellens enkelte relationer er der taget udgangspunkt i brancheanalyserne beskrevet i kap. 3, og der er testet en lang række alternative specifikationer. Det teoretiske grundlag for de alternative specifikationer beskrives nærmere i afsnit 4.3. Endelig gives i afsnit 4.4 en gennemgang af de valgte relationer.

4.2. Split-modellen

Den væsentligste variabel, der hentes fra ADAM, er udviklingen i branchernes produktion, og for denne variabel er det analyseret, hvad alternative split-procedurer vil betyde for udviklingen i energi forbruget.

Udgangspunktet for analyserne er, at en underbranches andel af en ADAM-branches produktion kan tænkes at være konstant, tids- eller produktionsafhængig. Begrundelsen for en tidsmæssig afhængighed skal søges i den omlægning, der løbende sker af erhvervsstrukturen p.g.a. ændrede samfundsforhold i form af f.eks. ændret befolkningssammensætning, ændrede konkurrenceforhold for bestemte erhverv, indførelse og indpasning af nye produkttyper. Ud over denne langsomme omlægning af fremstillingsvirksomheden kan forskydninger mellem underbrancherne også skyldes, at nogle af disse er mere konjunkturfølsomme end andre, hvorved stigninger/fald i den samlede ADAM-branches produktion vil slå forskelligt igennem på underbrancherne.

For at teste de alternative split-procedurer er for hver af ADAM-brancherne estimeret følgende sæt af relationer

$$S_i = \beta_i + \beta_{iq} \ln Q + \beta_{iT} \quad i = 1 \dots n \quad (4.1)$$

hvor S_i er underbranche i 's andel af ADAM-branchens produktion, n er antallet af underbrancher, Q er ADAM-branchens produktion i faste priser normeret til 1 i 1980, og T er tiden normeret til 1 i 1980, hvorved 1979 = 79/80.

Under restriktionerne $\sum_i \beta_i = 1$; $\sum_i \beta_{iq} = 0$ og $\sum_i \beta_{iT} = 0$

er relationerne (4.1) estimeret ved en maksimum-likelihood metode, hvorved estimerterne er uafhængige af, hvilken relation der udelukkes fra estimationen.

For at teste de forskellige hypoteser om underbranchernes udvikling er (4.1) desuden estimeret under restriktionerne

$\beta_{iq} = 0$ for $\forall i$, $\beta_{iT} = 0$ for $\forall i$, og $\beta_{iq} = 0$ v $\beta_{iT} = 0$ for $\forall i$,

og signifikansen af de forklarende variable er testet ved et χ^2 test. Når $\beta_{iq} = 0$ for $\forall i$ er andelene kun tidsafhængige, når $\beta_{iT} = 0$ for $\forall i$ er andelene kun produktionsafhængige, og når $\beta_{iq} = 0$ v $\beta_{iT} = 0$ for $\forall i$ er underbranchernes produktion konstante andele af ADAM-branchens produktion.

Resultaterne af disse estimationsforsøg er, at for ADAM-brancherne "Leverandører til byggeriet" og "Kemisk industri" kan hverken tiden eller produktionen forklare udviklingen i underbranchernes andele, hvorfor der for disse er valgt konstante andele. For brancherne "Næringsmiddelindustrien" og "Anden fremstillingsvirksomhed" er der en signifikant trendmæssig udvikling i underbranchernes andele og for "Jern- og metalindustrien" er der en signifikant produktionsafhængighed. De valgte split-relationer for de enkelte modelbrancher er:

Næringsmiddelindustrien:

| | |
|-------------------------------|---|
| Slagterierne | $S_1 = 0.424 + 0.011 \ln T + k_1$ (53.38) (0.16) |
| Fiskemel og foderstoffer | $S_2 = 0.049 + 0.097 \ln T + k_2$ (43.76) (9.52) |
| Næringsmiddelindustri iøvrigt | $S_3 = 1 - S_1 - S_2$ |

Nydelsesmiddel:

$$S_1 = 1$$

Leverandører til byggeri:

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Cementfabrikker | $S_1 = 0.080 + k_1$ |
| Teglværker og isoleringmaterialer | $S_2 = 0.164 + k_2$ |
| Leverandører til byggeri iøvrigt | $S_3 = 1 - S_1 - S_2$ |

Jern- og metalindustrien:

| | |
|----------------------------------|--|
| Jern- og stålværker | $S_1 = 0.066 - 0.059 \ln Q + k_1$ (31.50) (-8.27) |
| Jern- og metalindustrien iøvrigt | $S_2 = 1 - S_1$ |

Kemisk industri:

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Kemiske råstoffer og gødning | $S_1 = 0.206 + k_1$ |
| Kemisk industri iøvrigt | $S_2 = 1 - S_1$ |

Anden fremstillingsvirksomhed:

| | |
|--|--|
| Papir og papfabrikker | $S_1 = 0.027 - 0.021 \ln T + k_1$ (16.37) (-1.38) |
| Keramik, porcelæn og glas | $S_2 = 0.052 + 0.064 \ln T + k_2$ (39.37) (5.40) |
| Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt | $S_3 = 1 - S_1 - S_2$ |

k_i -leddene i de enkelte relationer fastsættes således, at den beregnede produktion for en underbranche er lig med den faktiske produktion i startåret for en simulation (normalt det sidste år for hvilket der findes observerede produktionsdata). Tallene i paranteserne angiver t-værdierne for de estimerede koefficienter.

Beregnes energiforbruget for perioden 1966-80 udfra split-model-
lens produktionsværdier og de faktiske energikoefficienter, af-
viger det beregnede totale energiforbrug ca. 1% fra det faktiske
energiforbrug. Afvigelserne for de enkelte ADAM-brancher er
noget større, men afvigelser på over 5% er sjældne, d.v.s. fejl
i produktionssplittet må forventes at udgøre en mindre del af
en prognoses totale fejl.

Foruden produktionsudviklingen hentes fra ADAM forudsigelser af
beskæftigelses- og investeringsudviklingen. For at transformere
disse forudsigelser til energimodellens brancheniveau er valgt
at anvende meget simple split-procedurer. For beskæftigelsesud-
viklingen forudsættes ganske enkelt, at beskæftigelsen i de
enkelte underbrancher ændres med samme % som for ADAM-branchen
som helhed, d.v.s. beskæftigelsen i en underbranche bestemmes
som:

$$Emp_i^t = Emp_i^{t-1} * P_{Emp}^t \quad (1)$$

hvor Emp_i^t er underbranchens beskæftigelse og P_{Emp}^t er ændringen
i ADAM-branchens beskæftigelse. Denne simple beregning er klart
kun rimelig, så længe der ikke sker væsentlige ændringer i under-
branchernes produktionsmæssige andele af ADAM-branchen. Har un-
derbrancherne konstante produktionsandele af ADAM-branchen, med-
fører beskæftigelsesberegningen samme produktionsudvikling i

ADAM-branchen og i de enkelte underbrancher. Ændres produktionsandelene jævnt og roligt, betyder beskæftigelsesberegningen, at brancher, der udgør en stigende andel, vil have større produktivitetstigninger end gennemsnittet, hvilket synes ganske rimeligt. Problemet opstår derimod, hvis en branches andel ændres væsentligt, f.eks. ved at man som en konsekvensberegning halverer produktionen i en underbranche. I denne situation skal beskæftigelsen ændres tilsvarende, hvilket man, som modellen er formuleret, skal gøre exogent.

En alternativ hypotese til beregningen af beskæftigelsen i underbrancherne kunne være at forudsætte samme produktivitetsudvikling i disse som i ADAM-branchen. Under denne antagelse kan beskæftigelsen beregnes som:

$$Emp_1^t = \frac{Emp_1^{t-1}}{Q_1^{t-1}} * Q_1^t * \frac{PEmp^t}{PQ^t} \quad (2)$$

hvor Emp_1^t og Q_1^t er h.h.v. underbranchens beskæftigelse og produktion og $PEmp^t/PQ^t$ er ADAM-branchens produktivitetsudvikling. Problemet ved denne beregningsformel er, at underbranchernes beskæftigelse ikke summer til ADAM-branchens beskæftigelse med mindre underbranchernes produktionsandele er konstante. Er produktionsandelene konstante, giver denne beregning samme resultat som relation (1). Ændres produktionsandelene, kunne relation (2) korrigeres med forholdet imellem ADAM-branchens beskæftigelse og summen af underbranchernes beskæftigelse beregnet ifølge relation (2), d.v.s.

$$Emp_1^t = \frac{Emp_1^{t-1}}{Q_1^{t-1}} * Q_1^t * \frac{PEmp^t}{PQ^t} * k^t \quad (3)$$

hvor $k^t = \frac{Emp^t}{\Sigma Emp_1^t}$ hvor Emp_1^t er beregnet fra relation (2), og Emp^t

er ADAM-branchens beskæftigelse. Dette ville betyde samme produktivitetsudvikling i de enkelte underbrancher, og denne ville være $k^t * \text{ADAM-branchens produktivitetsudvikling}$. I en første version af modellen er valgt at beregne beskæftigelsen ud fra

relation (1), da underbranchernes produktionsandele kun ændres langsomt. I en senere version bør det nok overvejes at ændre beskæftigelsesberegninger til relation (3), specielt hvis man påtænker at lave beregninger på væsentlige strukturændringer.

For investeringerne er der det problem, at ADAM kun giver en prognose for de samlede investeringer i industrien og altså ikke deler disse ud på brancher. Der er ikke foretaget nogen særskilt analyse af, hvordan investeringerne bør splittes ud på brancherne. I første omgang er valgt at fordele investeringerne ved konstante andele, d.v.s. som:

$$INV_i^t = INV^t * k_i$$

hvor INV^t er industriens samlede investeringer, k_i er branche i 's andel og INV_i^t er investeringerne i branche i .

Denne split-procedure for investeringerne er klart for simpel, da splittet burde afhænge af bl.a. kapitalintensiteten og produktionsudviklingen i den enkelte branche. At lave en realistisk split-procedure kræver imidlertid et ganske betydeligt analysearbejde, hvilket vi har afstået fra.

4.3. Alternative specifikationer af energimodellens relationer

4.3.1. Indledning

Som nævnt i indledningen til dette kapitel er det primære formål med modellen at lave rimelige og fortolkelige prognoser for industriens energiforbrug. Ved valg både af hvilke specifikationer, der er testet, og hvilke der skal indgå i modellen, er der derfor lagt vægt på relationernes evne til at forklare den hidtidige udvikling og til at give fortolkelige forudsigelser fremfor egenskaber m.h.t. at teste alternative hypoteser og forudsætninger om karakteristika ved industriens energiforbrug. D.v.s. relationernes forklaringssevne og fortolkeligheden af de estimerede koefficienter prioriteres fremfor, hvorvidt relationen er udledt på et konsistent teoretisk grundlag. Dette betyder

selvfølgelig ikke, at de testede relationer er uden et teoretisk indhold.

Grundlæggende kan de mange specifikationer, der er testet for de enkelte brancher, opdeles i følgende teoretisk set meget forskellige kategorier: top-down og bottom-up specifikationer.

I top-down specifikationerne specificeres en relation for branchens totale energiforbrug, og dette forbrug fordeles derefter på de enkelte typer v.hj.a. et fordelingssystem. Denne specifikationsform er ofte anvendt indenfor den neoklassiske forbrugs- og faktorefterspørgselsteori. Af ofte anvendte specifikationer kan nævnes LES-systemet, Rotterdam-modellen, Translog-modellen og den Generaliserede Leontief model.

I bottom-up specifikationerne specificeres en relation for hver energitype og branchens totale energiforbrug bestemmes som summen af forbruget af de enkelte typer. Normalt gives relationerne for de enkelte typer en ad-hoc specifikation.

I deres statistiske versioner gennemgås de testede top-down og bottom-up specifikationer i h.h.v. afsnit 4.3.2 og 4.3.3. De testede dynamiseringer af disse er gennemgået i afsnit 4.3.4.

4.3.2. Top-down specifikationer

Det teoretiske udgangspunkt for de specifikationer, der skal gennemgås i dette afsnit, er den neoklassiske produktionsteori, hvor producenterne, givet produktionsteknologien og faktorpriserne, søger at minimere omkostningerne ved at producere et givet output. Ved anvendelse af Shephard's dualitets teori kan dette problem beskrives ved en minimums-omkostningsfunktion i faktorprisen og outputmængden, og et sæt af omkostningsminimerende faktorefterspørgselsrelationer kan udledes ved partiel differentiering af omkostningsfunktionen m.h.t. faktorpriserne. Matematisk kan dette skrives som:

$$\text{omkostningsfunktionen} \quad C = g(\bar{p} \cdot Q) \quad (4.2)$$

faktorefterspørgsels-
relationerne

$$x_i = \delta C / \delta p_i \quad i = 1..n \quad (4.3)$$

hvor C er minimumsomkostninger, \vec{p} er en vektor af n faktorpriser, x_i er mængden af produktionsfaktor i , og Q er produktionsmængden.

Haves som produktionsfaktorer forskellige typer af kapital (K), arbejdskraft (L), energi (E) og andet (M) kan omkostningsfunktionen (4.2) generelt skrives som:

$$C = g(P_{K1}..P_{Kk}, P_{L1}..P_{Ll}, P_{E1}..P_{Ee}, P_{M1}..P_{Mm}, Q) \quad (4.4)$$

Specificeres denne omkostningsfunktion ved en flexibel form, hvor der ikke *à priori* er lagt begrænsninger på substitutionsforholdene imellem de enkelte faktorer, vil man ved empirisk implementation skulle estimere et antal parametre, der vokser kraftigt med antallet af faktorer. For at begrænse estimationsproblemerne lægges derfor normalt restriktioner på (4.4) og dermed på de underliggende produktionssammenhænge. To ofte anvendte restriktioner er at forudsætte svag separabilitet imellem grupper af faktorer, samt at disse er homothetiske i komponenterne.

Forudsætningen om svag separabilitet betyder, at faktorerne kan aggregeres i et antal grupper f.eks. kapital, arbejdskraft, energi og andet, samt at substitutionen imellem f.eks. typer af energi er uafhængig af indsatsen af ikke-energifaktorerne.

Forudsætningen om homothetitet betyder, at den optimale faktorsammensætning indenfor hver aggregeret gruppe er uafhængig af produktionsniveauet og dermed af indsatsen af den aggregerede gruppe.

Under disse 2 forudsætninger kan omkostningsfunktionen (4.4) skrives som:

$$C = g(P_K(P_{K1}..P_{Kk}), P_L(P_{L1}..P_{Ll}), P_E(P_{E1}..P_{Ee}), P_M(P_{M1}..P_{Mm}), Q) \quad (4.5)$$

og den overordnede omkostningsminimering kan opdeles i følgende del-minimeringer:

$$\begin{aligned}
 \min C_K &= P_K = P_K(P_{K1} \dots P_{Kk}) && \text{givet } P_{K1} \dots P_{Kk} \\
 \min C_L &= P_L = P_L(P_{L1} \dots P_{Ll}) && \text{givet } P_{L1} \dots P_{Ll} \\
 \min C_E &= P_E = P_E(P_{E1} \dots P_{Ee}) && \text{givet } P_{E1} \dots P_{Ee} \\
 \min C_M &= P_M = P_M(P_{M1} \dots P_{Mm}) && \text{givet } P_{M1} \dots P_{Mm} \\
 \text{og } \min C &= g(P_K, P_L, P_E, P_M, Q) && \text{givet } P_K, P_L, P_E, P_M, Q \quad (4.6)
 \end{aligned}$$

Fokuserer vi på energi, har vi således følgende 2-step optimering:

I. først optimeres energiforbrugets sammensætning på typer ved

$$\min C_E = P_E = P_E(P_{E1} \dots P_{Ee}) \quad \text{givet } P_{E1} \dots P_{Ee}$$

og derefter

II. givet den aggregerede energipris eller omkostningerne pr. energienhed P_E bestemmes det optimale energiinput ved

$$\min C = g(P_K, P_L, P_E, P_M, Q) \quad \text{givet } P_K, P_L, P_E, P_M, Q$$

Anvendes Shephard's Lemma på disse omkostningsfunktioner fås følgende 2 sæt af faktorefterspørgselsrelationer

$$E_i = \delta C_E / \delta P_{Ei} \quad i = 1 \dots e \quad (4.7)$$

$$x_i = \delta C / \delta P_i \quad i = K, L, E, M \quad (4.8)$$

hvor E_i er indsatsen af energitype i , og x_i er indsatsen af h.h.v. kapital, arbejdskraft, energi og andet. Af beregningsmæssige årsager transformeres disse efterspørgselsrelationer ofte til budgetandelsrelationerne.

$$S_{Ei} = \delta \ln C_E / \delta \ln P_{Ei} \quad i = 1 \dots e \quad (4.9)$$

$$S_i = \delta \ln C / \delta \ln P_i \quad i = K, L, E, M \quad (4.10)$$

hvor S_{Ei} er den i 'te energitypes andel af energibudgettet, og S_i er faktor i 's andel af det totale budget.

For, ud fra disse relationer, at komme frem til observerbare faktorefterspørgsels- eller budgetandelsrelationer må omkostningsfunktionens form defineres nærmere. En i energimæssig sammenhæng ofte anvendt flexibel omkostningsfunktion er translog-funktionen, der er en lokal logaritmisk 2. ordens Taylor approximation til en arbitrær omkostningsfunktion. Matematisk kan translogfunktionen skrives som:

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \alpha_q \ln Q + \sum_i \alpha_i \ln P_i + 1/2 \gamma_{qq} (\ln Q)^2 + \\ & 1/2 \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i \gamma_{qi} \ln Q \ln P_i \\ & i, j = 1..n \end{aligned} \quad (4.11)$$

hvor α_0 , α_q , α_i , γ_{qq} , γ_{ij} og γ_{qi} er teknologisk bestemte parametre.

For at repræsentere en "well-behaved" omkostningsfunktion må (4.11) opfylde betingelserne,

- at de udledte budgetandele summer til 1,
- at funktionen er homogen af 1. grad i faktorpriserne, d.v.s. ændres samtlige faktorpriser med $k\%$, skal de totale omkostninger også ændres med $k\%$,
- at funktionen er symmetrisk, d.v.s. haves en sekvens af ændringer i de forklarende variable, der for disse ender i udgangspunktet, skal omkostningerne og faktorsammensætningen være ens før og efter disse ændringer.

For (4.11) medfører disse betingelser følgende restriktioner på parameterne:

- adding-up $\sum_i \alpha_i = 1 \quad \sum_i \gamma_{ij} = 0 \quad \sum_i \gamma_{qi} = 0$
- homogenitet $\sum_j \gamma_{ij} = 0$
- symmetri $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$

Foruden disse restriktioner vil forudsætningen om homothesitet medføre at

$$\gamma_{qi} = 0$$

og forudsættes "constant return to scale" vil yderligere

$$\alpha_q = 0$$

Anvendes translogfunktionen til at beskrive både C og C_E , og forudsættes homothesitet for C_E men ikke for C, fås følgende sæt af budgetandelsrelationer

$$S_{Ei} = \alpha_{Ei} + \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ej} \quad i, j = 1..e \quad (4.12)$$

$$S_i = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_j + \gamma_{qi} \ln Q \quad i, j = K, L, E, M \quad (4.13)$$

Allen-substitutions elasticiteterne, der karakteriserer den underliggende produktionsteknologi, kan udledes af omkostningsfunktionen som:

$$\tau_{ij} = C C_{ij} / C_i C_j \quad i, j = 1..n \quad (4.14)$$

hvor $C_i = \delta C / \delta P_i$ og $C_{ij} = \delta^2 C / \delta P_i \delta P_j$

og udfra disse kan priselasticiteterne beregnes som:

$$\eta_{ij} = \delta \ln x_i / \delta \ln P_j = \tau_{ij} S_j \quad i, j = 1..n \quad (4.15)$$

Anvendes (4.15) på translogfunktionen, fås følgende priselastitetsformler for h.h.v. energityperne og de aggregerede faktorer (K, L, E, M)

$$\begin{aligned} \eta_{EiEj} &= (\beta_{ij} + S_{Ei} S_{Ej}) / S_{Ei} \quad \text{for } i \neq j \\ \eta_{EiEi} &= \beta_{ii} / S_{Ei} + S_{Ei} - 1 \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} \eta_{ij} &= (\gamma_{ij} + S_i S_j) / S_i \quad \text{for } i \neq j \\ \eta_{ii} &= \gamma_{ii} / S_i + S_i - 1 \end{aligned} \quad (4.17)$$

For energitypeelasticiteterne bemærkes, at disse er partielle forstået på den måde, at det totale energiforbrug forudsættes konstant. Da der imidlertid forudsættes homothetitet i C_E , kan de totale priselasticiteter beregnes som:

$$\eta_{EiEj}^* = \eta_{EiEj} + \eta_{EE} S_{Ej} \quad (4.18)$$

hvor η_{EE} er den aggregerede energipriselasticitet beregnet fra (4.17).

Ved en vurdering af denne model må man sige, at en væsentlig styrke ved modellen er, at den er udledt på grundlag af en sammenhængende økonomisk teori, hvorfor den opfylder grundlæggende produktionsteoretiske forudsætninger om en konsistent omkostningsminimerende adfærd, homogenitet i faktorpriser, Allen-symmetri og adding-up i budgetandele, ligesom modellens parametre er umiddelbart økonomisk fortolkelige. Dette betyder, at modellen er specielt velegnet til at teste forskellige hypoteser som f.eks., hvorvidt produktionsfaktorerne er substitutter eller komplementære, og om produktionsfunktionen er homothetisk eller ej.

Til prognoseformål bør modellen som minimum omformuleres til en dynamisk model, og tekniske fremskridt bør inkorporeres i det mindste på KLEM-niveauet. Gøres dette, begynder modellen at blive ganske kompleks, og afhængigt af hvilken dynamisk struktur og på hvilken form de tekniske fremskridt formuleres, medfører dette en betydelig forøgelse af antallet af parametre, der skal estimeres. For at inkorporere tekniske fremskridt må der iøvrigt specificeres og estimeres yderligere én relation; dette kan enten være selve omkostningsfunktionen eller en speciel relation for tekniske fremskridt. Angående tekniske fremskridt skal iøvrigt bemærkes, at forudsættes disse Hicks-neutrale, d.v.s. at faktorforholdene er uafhængige af de tekniske fremskridt, vil budgetandelsrelationerne være uændrede, hvorimod der i disse skal inkorporeres en trend, hvis denne forudsætning ikke holder.

I empirisk henseende kan man også stille spørgsmåltegn ved modellens separabilitets- og homothetetsforudsætninger. Separabilitetsforudsætningen betyder, at forbruget af de forskellige energityper skal være uafhængigt af indsatsen af kapital og arbejdskraft, d.v.s. disse variable må ikke indgå i relationerne for de enkelte typer. Homothetetsforudsætningen betyder, at produktionen ikke må indgå i disse relationer. Er disse forudsætninger ikke opfyldt, er 2-step optimeringen ikke konsistent med den totale optimering, og man må opstille en model, hvor relationerne for samtlige produktionsfaktorer og energityper bestemmes simultant. Med et datamateriale på bare 15 observationer må dette siges at være umuligt.

Er man villig til at slække på kravet om en teoretisk konsistent total optimering, kan man opstille en ad-hoc specificeret relation for det totale energiforbrug og anvende energidelen af den gennemgåede model som et fordelingsystem. Herved opnås dels en betydelig fleksibilitet i specifikationen af relationen for det totale energiforbrug, og dels at fordelingen på typer ikke behøver at være uafhængig af produktionsniveauet og af indsatsen af ikke-energimæssige produktionsfaktorer. Samtidig er det muligt at bevare nogle af fordelene ved den gennemgåede model; man kan via parameter-restriktionerne sikre adding-up, homogenitet i priser og Allen-symmetri, ligesom man har mulighed for at teste for f.eks. komplementaritet og substitution imellem energityperne. Desuden kan man teste, hvorvidt sammensætningen på typer er afhængig af produktionsniveauet eller af indsatsen af ikke-energimæssige faktorer.

Starter vi med at se på fordelingssystemet, kan vi tage udgangspunkt i energitypedelen af den gennemgåede model, d.v.s. vi har budgetandelsrelationerne:

$$SE_i = \alpha_{Ei} + \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ej} \quad i, j = 1..e \quad (4.19)$$

hvor parameterne opfylder restriktioner:

$$\sum_i \alpha_{Ei} = 1 \quad \sum_i \beta_{ij} = \sum_j \beta_{ij} = 0 \quad \text{og} \quad \beta_{ij} = \beta_{ji}$$

Inkluderer man i dette system yderligere forklarende variable, må man være opmærksom på,

- a) at relationerne er et sæt af budgetandelsrelationer, d.v.s. effekter af inkluderede variable skal fortolkes som bias-effekter på energiforbrugets sammensætning, samt at hvis en variabel påvirker udviklingen i det totale energiforbrug, men ikke dets sammensætning på typer, skal variabelen inkluderes i den overordnede relation for det totale energiforbrug, men ikke i budgetandelsrelationerne.
- b) at indgår en variabel i én af budgetrelationerne, må den nødvendigvis også indgå i én eller flere af de andre relationer, da budgetandelene totalt skal summe til 1.

Af variable, der umiddelbart kan tænkes at påvirke energiforbrugets sammensætning, kan nævnes produktionen, investeringerne, en trend og for flere af brancherne dummy-variable. Som eksempel på investeringer, der vil påvirke energiforbrugets sammensætning, kan nævnes deciderede oliebesparende/substituerende investeringer i en konvertering fra olie til f.eks. kul eller elektricitet, men også ikke-deciderede energimæssige investeringer kan tænkes at påvirke energiforbrugets sammensætning. Tekniske fremskridt kan tænkes at medføre en mere el-forbrugende teknologi end den eksisterende. Dummy-variable må for en del brancher inkluderes for at fange væsentlige engangsændringer, der enten skyldes store tekniske ændringer, eller at der i brancher er oprettet/lukket en stor energiforbrugende virksomhed, hvis energiforbrugssammensætning er væsentligt forskellig fra sammensætningen i den øvrige branche.

Inkluderes f.eks. produktion, investeringer, en trend og en dummy variabel i budgetandelsrelationerne, haves følgende relationer:

$$SE_i = \alpha_{Ei} + \sum_j \beta_{ij} \ln PE_j + \alpha_{iQ} \ln Q + \alpha_{iI} \ln I + \alpha_{iT} T + \alpha_{iD} D \quad i, j = 1..e \quad (4.20)$$

hvor Q er produktionen, I investeringer, T tiden og D en dummy variabel, og hvor parameterne må opfylde restriktionerne:

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_{Ei} &= 1 & \sum_i \beta_{ij} &= \sum_j \beta_{ij} = 0 & \beta_{ij} &= \beta_{ji} \\ \sum_i \alpha_{iq} &= \sum_i \alpha_{iI} = \sum_i \alpha_{iT} = \sum_i \alpha_{iD} = 0 \end{aligned}$$

Ser vi nu på total-relationen, skal denne bestemme det totale energibudget eller de totale energiudgifter. Ofte vælges dog at specificere en mængde-relation for det totale energiforbrug, samt at bestemme energiudgifterne som:

$$C_E = E * P_E \quad (4.21)$$

hvor E er energiforbruget målt i f.eks. TJ og P_E er energiprisen pr. TJ.

Formuleres total-relationen som en log-lineær relation for energiforbruget målt i TJ, kunne man som udgangspunkt teste følgende specifikation:

$$\ln E = a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln (P_E/P) + a_3 \ln T \quad (4.22)$$

hvor Q er produktionen, P er branchens outputpris, P_E er energiprisen, og T er tiden.

En fordel ved at vælge en log-lineær specifikation er, at relationens parametre kan fortolkes som elasticiteter, d.v.s. ændres produktionen med $x\%$, vil energiforbruget ændres med $a_1 * x\%$. Parameterne i (4.22) har således følgende fortolkninger og forventede fortegn:

a_0 et konstant-led, hvis størrelse og fortegn afhænger af variablens normering

a_1 en produktionselasticitet > 0

a_2 en real-energipriselasticitet < 0

a_3 en trend for tekniske fremskridt. Er de tekniske fremskridt energibesparende, vil $a_3 < 0$, er de energiforbrugende, vil $a_3 > 0$.

Af yderligere variable, der kan tænkes inddraget i denne relation, kan nævnes investeringer, beskæftigelse samt forskellige tekniske og dummy variable. Desuden kunne en del variable tænkes at indgå lagget, hvilket vil blive behandlet nærmere i afsnit 4.3.2 om dynamiske specifikationer.

Til slut skal endnu engang bemærkes, at effekten af variable, der indgår i h.h.v. budgetandelsrelationerne (4.20) og totalrelationen (4.22) fortolkes væsentligt forskelligt, samt at variable kan indgå i den ene uden at indgå i den anden. Indgår en variabel i (4.20), er fortolkningen en bias effekt på energiforbrugets sammensætning; indgår variabelen i (4.22) fortolkes effekten som en ændring i det totale energiforbrug med en uændret sammensætning på typer. For at have begge effekter må variabelen indgå i både (4.20) og (4.22).

4.3.3. Bottom-up specifikationer

I modsætning til top-down specifikationer, hvor der specificeres en total relation, og hvor type-relationerne er budgetandelsrelationer, bestemmes i bottom-up specifikationer normalt en mængde-relation for den enkelte type, og branchens totale energiforbrug bestemmes som summen af forbruget af de enkelte typer.

Ved bestemmelse af modellens relationer er opstillet og estimeret en lang række alternative ad-hoc specificerede type-relationer, hvor effekten af forskellige forklaringsvariable er testet. Som udgangspunkt er valgt en log-lineær specifikation med produktion og egenpris som forklarende variable, d.v.s. som udgangspunkt er for den enkelte type testet følgende specifikation:

$$\ln E_i = a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln(P_{Ei}/P) \quad (4.23)$$

hvor E_i er forbruget af energitype i , Q er produktionen og (P_{Ei}/P) er et prisindex for energitype i (P_{Ei}) deflateret med branchens outputpris (P).

De væsentligste yderligere forklaringsvariable, der er testet, og fortolkningerne af effekten af disse er:

| <u>variabel</u> | <u>fortolkning</u> |
|--|---|
| a) andre energityper (P_{Ej}/P) | inter-fuel substitution |
| b) investeringer | energi/kapital substitution/ komplementaritet |
| c) beskæftigelse | energi/arbejdskraftssubsti- tution/komplementaritet |
| d) tidstrend | teknologiske eller struk- turelle ændringer |
| e) branchespecifikke variable f.eks. dummy variable eller dele af branchens produktion | specifikke tekniske ændringer eller opstart/lukning af specifikke produktioner o.l. |

Hvilke af disse og andre forklaringsvariable, der er testet og inddraget i modellens relationer, varierer fra branche til branche og fra type til type. Udgangspunktet for hvilke forklaringsvariable, der er testet, er de udarbejdede branchebeskrivelser, der er summeret i kapitel 3. Specielt valget af branchespecifikke variable er begrundet i disse branchebeskrivelser.

Ved opstilling og tests af alternative specificationer er man ofte fristet til at teste alle mulige gode og dårlige forklaringsvariable, der er svært fortolkelige, og hvis teoretiske indhold er minimalt. Samtidig løber man en betydelig risiko for at medtage nonsens-korrelationer og altså vælge intetsigende forklaringer. Et andet problem er, at det ikke nytter at forklare den hidtidige udvikling ved f.eks. en lang række tekniske engangsændringer, men årsagen til disse ændringer må forklares. Det skal være muligt at prognostisere udviklingen i de forklarende variable. Ved valg imellem alternative specificationer er derfor, foruden relationens forklaringsgrad (R^2 -værdi) og de forklarende variables signifikans, lagt vægt på relationens og

de estimerede parameters fortolkelighed samt prognostiserbarheden af de forklarende variable. Med hensyn til de branchespecifikke variable skal bemærkes, at en del af disse i modellen er anvendt til at fange reelle engangsændringer, der ikke kan forventes gentaget.

4.3.4. Dynamiske specifikationer

Bag de hidtil gennemgåede statiske specifikationer ligger ved anvendelse af års-observationer implicit en forudsætning om, at virksomhederne indenfor et år tilpasser deres energiforbrug fuldstændigt til ændringer i f.eks. produktionen og energipriserne. Da virksomhederne i denne tilpasning er begrænset af bl.a. det eksisterende kapitalapparat og arbejdsstyrken, synes denne forudsætning noget restriktiv, hvorfor en række alternative dynamiske specifikationer er testet. De testede dynamiseringer er i det følgende gennemgået i grupperinger: a) dynamiske specifikationer af enkelt-relationer, og b) dynamiske specifikationer af sæt af budgetandelsrelationer.

Dynamiske specifikationer af enkelt-relationer

Starter vi med at se på dynamiske effekter af en enkelt forklarende variabel som f.eks. energiprisen, kan disse inkorporeres ved i relationen at inkludere energiprisen et antal perioder. Tager vi udgangspunkt i sidste afsnits ad-hoc specificerede typerelation, vil vi f.eks. have følgende specifikation:

$$\ln E_{it} = a_0 + a_1 \ln Q_t + a_2 \ln(P_{Eit}/P_t) + a_3 \ln(P_{Eit-1}/P_{t-1}) + a_4 \ln(P_{Eit-2}/P_{t-2}) + \text{etc.} \quad (4.24)$$

En væsentlig fordel ved denne simple fremgangsmåde er, at selve lag-strukturen ikke à priori er fastlagt, men estimeres. Ved meget langsomme tilpasningshastigheder giver denne fremgangsmåde imidlertid alvorlige estimationsproblemer, da antallet af lag bliver meget stort, og da der mistes 2 frihedsgrader pr. lag. For at reducere estimationsproblemerne vælges ofte at specifi-

cere lag-strukturen à priori. En ofte anvendt lag-struktur er det geometrisk aftagende lag, hvor vægtene specificeres som

$$W_j = (1-\lambda)\lambda^j$$

Introduceres denne lag-struktur på energiprisen i den simple ad-hoc relation, haves følgende specifikation:

$$\ln E_{it} = a_0 + a_1 \ln Q_t + a_2 (1-\lambda) \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j \ln(P_{Eit-j}/P_{t-j}) \quad (4.25)$$

Da denne relation indeholder et uendeligt antal led, kan den ikke estimeres direkte, men må omformuleres til:

$$\ln E_{it} = a_0(1-\lambda) + a_1(\ln Q_t - \lambda \ln Q_{t-1}) + a_2(1-\lambda) \ln(P_{Eit}/P_t) + \lambda \ln E_{it-1} \quad (4.26)$$

hvor der blot indgår 1 år laggede værdier, og blot skal estimeres én dynamisk parameter λ . I denne specifikation må a_2 fortolkes som ligevægtspriselasticiteten, og 1. års elasticiteten vil være $a_2(1-\lambda)$. Ligger værdien af λ i intervallet $[0:1]$ er tilpasningen jævnt konvergerende, ligger λ i intervallet $[-1:0]$ haves en alternerende konvergens, og er λ numerisk større end 1, fås en divergerende udvikling.

En anden ofte anvendt dynamisk specifikation er den såkaldte "partial adjustment" (PA) model, der i lighed med den just gennemgåede specifikation specificerer en geometrisk aftagende tilpasningsproces. Udgangspunktet for PA-modellen er en skelnen imellem den faktiske og ønskede værdi af den afhængige variabel, og den faktiske tilpasning beskrives ved en konstant andel af den ønskede tilpasning. For de logaritmisk transformerede energiforbrug kan denne tilpasningsmodel beskrives ved

$$\ln E_{it} - \ln E_{it-1} = k(\ln E_{it}^* - \ln E_{it-1}) \quad (4.27)$$

hvor E_{it}^* er det ønskede energiforbrug. Ligevægtsløsningen til denne model er givet ved

$$\ln E_{it} = \sum_{j=0}^{\infty} k(1-k)^j \ln E_{it-j} \quad (4.28)$$

hvoraf det ses, at en jævn konvergerende tilpasning kræver, at k ligger i intervallet $[0:1]$. Ligger k i intervallet $[1:2]$, fås en alternerende konvergens, og ligger k udenfor intervallet $[0:2]$, divergerer modellen. Specificeres det ønskede energiforbrug ved den simple ad-hoc specifikation, fås følgende relation:

$$\ln E_{it} = k a_0 + k a_1 \ln Q_t + k a_2 \ln (P_{Eit}/P_t) + (1-k) \ln E_{it-1} \quad (4.29)$$

Fortolkningsmæssigt minder k meget om $(1-\lambda)$ i (4.26). Langsigtsproduktions- og priselasticiteterne er i (4.29) h.h.v. a_1 og a_2 , og 1. års elasticiteterne er h.h.v. $k a_1$ og $k a_2$. Det bemærkes, at i (4.29) forudsættes samme lag-struktur for samtlige forklarende variable, d.v.s. for afvigelser fra det ønskede energiforbrug forudsættes samme tilpasningsproces, hvad enten afvigelserne skyldes ændrede energipriser eller ændret produktionsniveau. I (4.26) har kun prisen en lagget effekt.

En lidt mere flexibel lag-struktur end PA-modellen er den såkaldte "error-correction-mechanism" (ECM), hvor tilpasningen beskrives ved en konstant andel af ændringen i den ønskede værdi plus en andel af den et år laggede difference imellem den faktiske og den ønskede værdi. Matematisk kan dette skrives som:

$$\ln E_{it} - \ln E_{it-1} = k_1 (\ln E_{it}^* - \ln E_{it-1}^*) + k_2 (\ln E_{it-1}^* - \ln E_{it-1}) \quad (4.30)$$

Ligevægtsløsningen til denne model er givet ved:

$$\ln E_{it} = k_1 \ln E_{it}^* + k_2 (1-k) \sum_{j=0}^{\infty} (1-k_2)^j \ln E_{it-j-1} \quad (4.31)$$

hvoraf det ses, at konvergens kræver, at k_2 ligger i intervallet $[0:2]$. Ligger k_2 i intervallet $[1:2]$ fås en alternerende konvergens, og ligger k_2 i intervallet $[0:1]$ fås efter 1. år en jævn geometrisk aftagende konvergens. 1. års effekten bestemmes af k_1 . Ligger k_1 i intervallet $[0:1]$ fås en jævn 1. års effekt,

hvorimod man for k_1 udenfor dette interval får enten en overreaktion eller en modsat rettet 1. års effekt, d.v.s. for at få en jævnt konvergerende tilpasning over hele perioden kræves at $0 < k_1, k_2 < 1$. Iøvrigt bemærkes, at ECM-modellen reduceres til PA-modellen, når $k_1 = k_2$.

Specificeres det ønskede energiforbrug igen ved den simple ad-hoc specifikation, fås følgende relation

$$\begin{aligned} \ln E_{it} = & k_2 a_0 + k_1 a_1 \ln Q_t + k_1 a_2 \ln (P_{Eit}/P_t) + \\ & (k_2 - k_1) a_1 \ln Q_{t-1} + \\ & (k_2 - k_1) a_2 \ln (P_{Eit-1}/P_{t-1}) + (1 - k_2) \ln E_{it-1} \end{aligned} \quad (4.32)$$

hvor 1. års produktions- og priselasticiteterne er givet ved h.h.v. $k_1 a_1$ og $k_1 a_2$, og hvor ligevægtselasticiteterne er givet ved h.h.v. a_1 og a_2 .

Dynamiske specifikationer af sæt af budgetandelsrelationer

Fortolkes budgetandelsrelationerne beskrevet i afsnit 4.3.2 som ønskede budgetandele, kan en simpel dynamisk tilpasning til disse beskrives ved PA-modellen, d.v.s. vi har følgende relationer:

$$S_{Eit} - S_{Eit-1} = k(S_{Eit}^* - S_{Eit-1}) \quad i = 1..e \quad (4.33)$$

Indsættes budgetandelsrelationerne (4.12) som de ønskede budgetandele S_{Eit}^* , fås

$$S_{Eit} = k(\alpha_{Ei} + \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ejt}) + (1 - k)S_{Eit-1} \quad i, j = 1..e \quad (4.34)$$

Ved anvendelse af PA-modellen på budgetandele bemærkes dels, at k som følge af adding-up i både ønskede og faktiske budgetandele (d.v.s. $\sum_i S_{Eit}^* = \sum_i S_{Eit} = 1$) skal være ens for samtlige budgetandele, og dels at k må fortolkes som den årlige tilpasning i budgetandele og ikke som normalt som en mængdetilpasning. I

denne forbindelse skal bemærkes, at 1. års effekten af en prisændring normalt vil være sammensat af en prisændring og en modsat rettet mængdeændring.

I det ofte forekommende tilfælde, hvor en prisstigning på langt sigt kun delvist opvejes af en mængded nedgang (d.v.s. $\beta_{ii} > 0$ og den ønskede budgetandel S_{Eit}^* altså stiger), vil en jævn geometrisk aftagende tilpasning i budgetandelene (d.v.s. $0 < k < 1$) medføre en 1. års mængdeændring, der er større end ligevægtsændringen.

I dette tilfælde, hvor $\beta_{ii} > 0$, medfører PA-modellen således enten en 1. års overreaktion i mængdetilpasningen (når $0 < k < 1$) eller en alternerende tilpasning (når $1 < k < 2$). For i PA-modellen på budgetandele at få en jævn mængdetilpasning, skal $\beta_{ii} < 0$ (d.v.s. en prisstigning skal mere end opvejes af en mængded nedgang, således at budgetandelen falder) og $0 < k < 1$.

For at undgå ovennævnte begrænsninger kan tilpasningsstrukturen alternativt beskrives ved ECM-modellen, der på budgetandele kan skrives som

$$S_{Eit} - S_{Eit-1} = k_1 (S_{Eit}^* - S_{Eit-1}^*) + k_2 (S_{Eit-1}^* - S_{Eit-1}) \quad i = 1..e \quad (4.35)$$

Indsættes budgetandelsrelationerne (4.12) som de ønskede budgetandele S_{Eit}^* , fås

$$S_{Eit} = k_2 \alpha_{Ei} + k_1 \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ejt} + (k_2 - k_1) \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ejt-1} + (1 - k_2) S_{Eit-1} \quad i, j = 1..e \quad (4.36)$$

hvor adding-up af ønskede og faktiske budgetandele betyder, at k_1 og k_2 skal være ens for samtlige budgetandelsrelationer. For i denne model at få en jævn mængdetilpasning kræves enten, at $\beta_{ii} < 0$ og $0 < k_1, k_2 < 1$, eller at $\beta_{ii} > 0$, $1 < k_1 < 2$ og $0 < k_2 < 1$. For andre kombinationer af parameterverdier fås enten en 1. års overreaktion eller en alternerende mængdetilpasning.

Til slut skal nævnes, at både PA- og ECM-modellen er såkaldte enkelt-relationsmodeller, hvor uligevægt for et input ikke explicit påvirker mængden af andre input. Som eksempel på en simpel inter-relateret uligevægtsmodel kan nævnes følgende generalisering af PA-modellen:

$$\bar{S}_t - \bar{S}_{t-1} = \bar{K} (\bar{S}_t^* - \bar{S}_{t-1}) \quad (4.37)$$

hvor \bar{S}_t og \bar{S}_t^* er vektorer af h.h.v. faktiske og ønskede budgetandele og \bar{K} er en matrice af tilpasningsparametre.

De testede dynamiske budgetandelsrelationer har været begrænset til PA- og ECM-modellerne. Når den generaliserede PA-model ikke er testet, skyldes det dels estimationsproblemer p.g.a. for få observationer, og dels at tidligere studier viser, at modellen i empirisk henseende ikke er bedre end den simple ECM-model.

4.4. Estimationsresultater

Indledning

Udfra de i sidste afsnit gennemgåede alternative specifikationer af energimodellens relationer er for den enkelte branche og energitype estimeret en række forskellige relationer. Resultaterne af disse estimationer varierer både fra branche til branche og fra type til type. For nogle brancher giver de alternative top-down og bottom-up specifikationer forholdsvis samstemmende resultater, for andre brancher giver de forskellige specifikationer vidt forskellige resultater, som det kan være svært at vælge imellem, og for atter andre brancher synes ingen af de testede specifikationer at give rimelige og fortolkelige resultater. Specielt har der været problemer med at bestemme relationer for de brancher, der er domineret af en enkelt eller få store virksomheder.

Ser vi på de enkelte energityper, har det generelt set ikke været muligt statistisk at bestemme relationer for splittet imellem fast- og flydende brændsel. Enten kan de testede relationer ikke forklare udviklingen i analyseperioden, eller også kan disse

ikke anvendes til at forudsige den fremtidige udvikling. Typisk er der i en branche enkelte store virksomheder, hvor det, p.g.a. de stigende oliepriser, er blevet rentabelt at konvertere fra flydende- til fast brændsel. Disse virksomheder er enten i færd med eller har konverteret til fast brændsel, hvorefter en yderligere konvertering ikke kan forventes. På et forholdsvis aggregeret statistisk grundlag er det vanskeligt at bestemme relationer, der kan fange en sådan udvikling, hvorfor forbruget af fast- og flydende brændsel er bestemt samlet. Splittet imellem fast- og flydende brændsel er fastlagt udfra *à priori* antagelser baseret på branchebeskrivelserne gennemgået i kapitel 3.

Ser man overordnet på relationerne for de andre energityper, giver relationerne for elforbruget rimelige og fortolkelige resultater. Relationerne for transportenergiforbruget er generelt meget simple, og de fleste af disse indeholder en dummy-variabel til at fange en revision af opgørelsesmetoden i 1974. Iøvrigt bemærkes, at transport-energiforbruget i de fleste brancher er forsvindende, og at relationerne for transport-energiforbruget derfor ikke er tillagt så stor betydning som relationerne for de andre energityper.

En oversigt over produktions- og priselasticiteterne for de enkelte brancher er vist i tabellerne 4.4.1 og 4.4.2.

Betragtes tabellerne overordnet, bemærkes, at både produktions- og priselasticiteterne varierer betydeligt fra branche til branche. Vægtet med branchernes andele af energiforbruget er den gennemsnitlige produktionselasticitet for industrien som helhed 0.80 og priselasticiteten er -0.22. Sammenlignes total elasticiteterne for de enkelte brancher, synes der ikke at være nogen særlig klar systematik i disse. For produktionselasticiteterne er der en tendens til, at elasticiteterne for de energi-intensive brancher er svagt større end elasticiteterne for de mindre energi-intensive brancher. For priselasticiteterne er der i modsætning til, hvad man *à priori* ville forvente, en svag tendens til at elasticiteterne for de energi-intensive brancher er mindre end elasticiteterne for de mindre energi-intensive brancher.

Tabel 4.4.1. Elasticiteter for de valgte top-down specifikationer

| Branche | Prod. elast. | Total priselast. | Partielle priselasticiteter | | |
|--|-----------------|---------------------|-----------------------------|-------|---------|
| | | | kul/olie | el | transp. |
| Næringsmidd. iøvrigt | 0.81 | -0.27 | -0.26 | -0.33 | -0.34 |
| Jern- og metal iøvrigt | 0.97 | -0.31 | -0.15 | -0.21 | -0.33 |
| Kemiske råstoffer | 0.83 | -0.08 | -0.16 | -0.16 | -0.40 |
| Papir- og papfremst. | 0.92 | -0.22 | -0.11 | -0.19 | -0.61 |
| Jern- og metalværker og støberier ekskl. jern- og stålværker | 0.45 | -0.10 | - | - | - |

Tabel 4.4.2. Elasticiteter for de valgte bottom-up specifikationer

| Branche | Produktionselasticiteter | | | | Priselasticiteter | | | |
|--------------------------------|--------------------------|----------|------|---------|-------------------|----------|-------|---------|
| | Total | kul/olie | el | transp. | Total | kul/olie | el | transp. |
| Slagterier | 0.77 | 0.22 | 1.21 | 1.37 | -0.38 | -0.23 | -0.53 | -0.31 |
| Fiskemel og foderstoffer | 0.91 | 0.80 | 1.15 | 1.76 | -0.14 | -0.14 | -0.18 | - |
| Nydelses- middelindustri | 0.72 | 0.74 | 0.69 | 0.45 | -0.16 | -0.18 | -0.13 | -0.02 |
| Cementfabrikker | 1.01 | 1.04 | 0.79 | 1.32 | -0.11 | -0.12 | -0.04 | -0.03 |
| Tegl og isolering | 0.47 | 0.49 | 0.73 | 0.41 | -0.43 | -0.53 | -0.17 | -0.31 |
| Lev. til byg- geri iøvrigt | 0.95 | 1.09 | 0.59 | 1.50 | -0.17 | -0.25 | - | -0.19 |
| Kemisk in- dustri iøvrigt | 0.83 | 0.29 | 1.25 | 0.94 | -0.46 | -0.11 | -0.75 | -0.43 |
| Keramik, por- celæn og glas | 0.74 | 0.77 | 0.60 | 1.64 | -0.56 | -0.49 | -0.78 | - |
| Anden fremst. iøvrigt | 0.53 | 0.50 | 0.56 | 0.56 | -0.34 | -0.15 | -0.59 | -0.10 |

Total elasticiteterne i bottom-up specifikationerne er beregnet som et vægtet gennemsnit af typeelasticiteterne (1980 TJ andele er anvendt som vægte).

Sammenlignes elasticiteterne for de enkelte typer indenfor en branche, er der en tendens til at relativt høje produktionselasticiteter for en type også medfører relativt høje priselasticiteter for typen, hvilket både kan skyldes en reel sammenhæng men også multicollinearitetsproblemer. Generelt set er der en tendens til, at en del af substitutionen imellem typerne fanges via produktionseffekter fremfor via relative priseffekter. Specielt fanges en væsentlig del af substitutionen til el via produktions-, beskæftigelses- og investeringseffekter fremfor via den relative elpris.

Mangelen på en klar systematik i elasticiteternes størrelse må iøvrigt fortolkes som, at disse er mere afhængige af den specifikke produktionsproces, og hvilke energibesparelsesmuligheder der er i den enkelte branche, end af mere generelle energimæssige forhold som f.eks. branchens energi-intensitet. For at belyse de mere branchespecifikke forhold skal resultaterne for de enkelte brancher derfor gennemgås lidt nærmere. Denne gennemgang vil blive grupperet efter ADAM-brancherne og vil fokusere på de brancher, hvor specielle forhold gør sig gældende.

4.4.1. Estimationsresultater for de enkelte brancher

Næringsmiddelindustrien

For næringsmiddelindustriens modelbrancher er for "Slagterier" og "Fiskemel og foderstoffer" valgt en bottom-up specifikation og for "Næringsmiddelindustrien iøvrigt" en top-down specifikation.

Ser vi på slagterierne, har bestemmelsen af relationerne for disse ikke givet anledning til de store problemer, og både de testede top-down og bottom-up specifikationer har givet forholdsvis samstemmende resultater. Branchen har i analyseperioden været karakteriseret af svagt faldende energikoefficienter og en markant forskydning fra olie til el. Denne udvikling forventes at fortsætte jævnt, og er i de valgte relationer udmøntet

i en total produktionselasticitet, der er mindre end 1 og en forholdsvis stor total priselasticitet. Substitutionen fra olie til el har givet sig udslag i en stor produktionselasticitet i el-relationen og en meget lille produktionselasticitet i relationen for fast- og flydende brændsel. Desuden er der i el-relationen inkluderet en ganske betydelig substitution imellem beskæftigelse og elforbruget, hvilket er et udtryk for, at en væsentlig del af de rationaliseringer, der er gennemført på slagterierne, er sket ved indførelse af arbejdskraftsbesparende men el-forbrugende maskiner. Endelig bemærkes, at branchen fremover ikke forventes at anvende fast brændsel. De valgte relationer for slagterierne er givet i rel. (1.1) - (1.5).

$$\begin{aligned} \ln E_t^{ko} &= 5.792 * (1-0.083) + 0.216 * (\ln Q_t - 0.083 \ln Q_{t-1}) \\ &\quad (2.62) \quad (0.99) \\ &\quad - 0.231 * (1-0.083) * \ln(P_t^{ko}/P_t) + 0.083 * \ln E_t^{ko} \\ &\quad (-4.10) \\ R^2 &= 0.76 \quad DW = 1.94 \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^e &= 2.541 * (1-0.190) + 1.205 * (\ln Q_t - 0.190 \ln Q_{t-1}) \\ &\quad (0.45) \quad (4.68) \\ &\quad - 0.527 * (\ln(P_t^e/P_t) - 0.190 \ln(P_{t-1}^e/P_{t-1})) \\ &\quad (-1.60) \\ &\quad - 0.685 * (\ln Emp_t - 0.190 \ln Emp_{t-1}) + 0.190 \ln E_{t-1}^e \\ &\quad (-1.70) \quad (0.53) \\ R^2 &= 0.90 \quad DW = 2.63 \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^{tr} &= -8.567 * (1-0.130) + 1.366 * (\ln Q_t - 0.130 \ln Q_{t-1}) \\ &\quad (-3.39) \quad (5.52) \\ &\quad - 0.309 * (1-0.130) * \ln(P_t^{tr}/P_t) + 0.130 \ln E_{t-1}^{tr} \\ &\quad (-4.00) \quad (0.95) \\ R^2 &= 0.80 \quad DW = 2.81 \end{aligned} \quad (1.3)$$

$$E_t^k = 0 \quad (1.4)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} \quad (1.5)$$

For "Fiskemel og foderstoffer" er de valgte relationer udtryk for ganske alvorlige problemer med statistisk at bestemme rimelige og fortolkelige relationer for branchens energiforbrug.

Bortset fra at en ikke uvæsentlig del af branchens energiforbrug er afhængig af klimatiske forhold, og at energiforbruget i analyseperioden har været stærkt varierende, er udviklingen i analyseperioden karakteriseret ved svagt stigende energikoefficienter. Den væsentligste årsag til de stigende energikoefficienter er, at andelen af foderstofferne, der tørres, samt tørringsgraden har været stigende. Da denne udvikling forventes at aftage, er der, specielt i relationen for forbruget af fast- og flydende brændsel (der udgør ca. 70% af branchens totale energiforbrug) inkluderet en aftagende trend-effekt. En anden "korrektionsfaktor", der er inkluderet i relationerne for både fast- og flydende brændsel og el, er en dummy-variabel, der er 1 i årene 1977-79 og ellers 0. Denne variabel er inkluderet for at fange et markant hop i branchens energiforbrug, som det ikke har været muligt at finde hverken tekniske eller økonomiske forklaringer på. Ellers bemærkes, at branchen har en forholdsvis høj total produktionselasticitet og en beskeden priselasticitet, samt at omlægningen fra fast- og flydende brændsel til el medfører en højere produktionselasticitet for el end for fast- og flydende brændsel. M.h.t. anvendelsen af fast brændsel regnes i modellen med, at en del foderstofvirkomheder frem til 1985 konverterer en del af deres energiforbrug fra flydende- til fast brændsel, hvorefter fast brændsel forventes at udgøre 15% af branchens forbrug af fast- og flydende brændsel. De valgte relationer for branchen er givet i rel. (2.1) - (2.5).

$$\ln E_t^{ko} = -14.682 * (1-0.040) + 0.800 * (\ln Q_t - 0.040 \ln Q_{t-1})$$

(-1.01) (0.10) (0.78)

$$- 0.137 * (1-0.040) * \ln(P_t^{ko}/P_t) + TD_t^{ko}$$

(-0.84)

$$- 0.040 TD_{t-1}^{ko} + 0.740 * (\ln Emp_t - 0.040 \ln Emp_{t-1})$$

(0.89)

$$+ 0.319 * (D_t^{ko} - 0.040 D_{t-1}^{ko}) + 0.040 \ln E_{t-1}^{ko}$$

(2.50)

$$R^2 = 0.98 \quad DW = 2.29 \quad (2.1)$$

$$TD_t^{ko} = TD_{t-1}^{ko} + 2.637 * (\ln t - \ln(t-1)) * \exp(-0.23*(t-80))$$

(0.66)

$$(2.1.1)$$

$$\ln E_t^e = - 1.889 + 1.151 \ln Q_t - 0.175 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.490 * D_t^e$$

(1.40) (6.39) (-0.94) (3.84)

$$R^2 = 0.95 \quad DW = 1.01 \quad (2.2)$$

$$\ln E_t^{tr} = - 15.407 * (1-0.494) + 1.764 * (\ln Q_t - 0.494 \ln Q_{t-1})$$

(1.59) (2.03)

$$+ TD_t^{tr} - 0.494 * TD_{t-1}^{tr} + 0.494 \ln E_{t-1}^{tr}$$

(2.29)

$$R^2 = 0.96 \quad DW = 1.41 \quad (2.3)$$

$$TD_t^{tr} = TD_{t-1}^{tr} + 1.604 * (\ln t - \ln(t-1)) * \exp(-0.23*(t-80))$$

(0.44)

(2.3.1)

$$E_t^k = E_t^{k0} * (0.064 * (1.186^{*(t-80)})) \quad t = 81 \dots 85$$

$$E_t^k = E_t^{k0} * 0.15 \quad t = 86 \dots 110 \quad (2.4)$$

$$E_t^o = E_t^{k0} - E_t^k \quad (2.5)$$

Ser vi på "Næringsmiddelindustrien iøvrigt", bemærkes, at branchen er sammensat af mange ikke særligt energi-intensive virksomheder, samt at branchen p.g.a. sin produktionsmæssige størrelse er modellens næststørste energiforbruger. I analyseperioden har branchen været karakteriseret af en jævnt faldende total energikoefficient sammensat af en stigende el-koefficient og en kraftigt faldende koefficient for flydende brændsel. For de testede bottom-up specifikationer har denne udvikling betydet en dårlig forklaring af forbruget af fast- og flydende brændsel, samt en tendens til at overvurdere udviklingen i elforbruget, hvorfor der i modellen er valgt en top-down specifikation. For branchens totale energiforbrug bemærkes stort set gennemsnitlige produktions- og priselasticiteter samt en ganske betydelig substitution imellem energi og arbejdskraft. For forbruget af de enkelte typer bemærkes næsten lige store partielle priselasticiteter (se tabel 4.4.1) samt en produktionsafhængig substitution fra fast- og flydende brændsel. Branchens forbrug af fast brændsel må i al væsentlighed tilskrives sukkerfabrikkerne, der frem til 1986 konverterer fra olie til kul. Efter 1986 forventes ingen yderligere konvertering til kul, og i modellen regnes med, at forbruget af fast brændsel vil udgøre 25% af branchens

samlede forbrug af fastog flydende brændsel. Relationen for "Næringsmiddelindustrien iøvrigt" er givet i rel. (3.1) - (3.6).

$$\begin{aligned} \ln E_t^T &= 9.341 + 0.812 * \ln Q_t - 0.268 * \ln(P_t^E/P_t) \\ &\quad (1.07) \quad (2.47) \quad (-2.63) \\ &\quad - 0.710 * \ln \text{Empt}_t \\ &\quad (-1.30) \\ R^2 &= 0.79 \quad DW = 2.29 \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} S_t^{ko} &= 1.300 * [0.562 - 0.074 * \ln(P_t^E/P_t^{ko}) \\ &\quad (3.87) \quad (42.46) \quad (-2.36) \\ &\quad - 0.032 * \ln(P_t^{tr}/P_t^{ko}) - 0.223 * \ln(NQ_t)] \\ &\quad (-2.10) \quad (-2.09) \\ &\quad + (0.469 - 1.300) * [0.562 - 0.074 * \ln(P_{t-1}^E/P_{t-1}^{ko}) \\ &\quad (3.38) \quad (3.87) \quad (42.46) \quad (-2.36) \\ &\quad - 0.032 * \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}^{ko}) - 0.223 * \ln(NQ_{t-1})] \\ &\quad (-2.10) \quad (-2.09) \\ &\quad + (1 - 0.469) * S_{t-1}^{ko} \\ &\quad (3.38) \\ R^2 &= 0.77 \quad DW = 2.11 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} S_t^e &= 1.300 * [0.315 - 0.074 * \ln(P_t^{ko}/P_t^E) \\ &\quad (3.87) \quad (27.94) \quad (-2.36) \\ &\quad - 0.039 * \ln(P_t^{tr}/P_t^E) + 0.190 * \ln(NQ_t)] \\ &\quad (-3.23) \quad (1.80) \\ &\quad + (0.469 - 1.300) * [0.315 - 0.074 * \ln(P_{t-1}^{ko}/P_{t-1}^E) \\ &\quad (3.38) \quad (3.87) \quad (27.94) \quad (-2.36) \\ &\quad - 0.039 * \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}^E) + 0.190 * \ln(NQ_{t-1})] \\ &\quad (-3.23) \quad (1.80) \\ &\quad + (1 - 0.469) * S_{t-1}^e \\ &\quad (3.38) \\ R^2 &= 0.85 \quad DW = 2.06 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$S_t^{tr} = 1 - S_t^{ko} - S_t^e \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} E_t^k &= E_t^{ko} * (0.135 * (1.108^{**}(t-80))) \quad t = 81 \dots 86 \\ E_t^k &= E_t^{ko} * 0.250 \quad t = 87 \dots 110 \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} - E_t^k \quad (3.6)$$

Nydelsesmiddelindustrien

Som det fremgår af branchebeskrivelsen, er denne branche sammenfaldende med ADAM-branchen "Nydelsesmiddelindustrien" og består af nationalregnskabsbrancherne: sprit- og likørfabrikker, bryggerier og tobaksfabrikker, der hver er domineret af en enkelt stor virksomhed. At branchen er domineret af ganske få store virksomheder betyder, at udviklingen i væsentlig grad er afhængig af enkelt-hændelser/beslutninger, som det er vanskeligt at tage højde for i statistisk bestemte forecast-relationer, d.v.s. en prognose for branchens energiforbrug vil være forholdsvis usikker.

Ser vi på de valgte relationer (4.1) - (4.5), bemærkes for fast- og flydende brændsel moderate produktions- og priselasticiteter samt signifikante energibesparende investeringer. Dummy-variablen, der er 1 til og med 1972 og derefter 0, er inkluderet for at fange et betydeligt og kun delvist forklarbart fald i bryggeriernes energiforbrug i 1973. Det skal bemærkes, at skønt faldet ikke umiddelbart kan gives en forklaring, er dummy-variablen væsentlig, både fordi den er stærkt signifikant, og fordi relationens andre koefficienter ændres betydeligt, hvis ikke dummy-variablen var inkluderet.

Ser vi på el-relationen, skal bemærkes, at bestemmelsen af denne har givet anledning til en del overvejelser om, hvorvidt der skal inkluderes en beskæftigelseseffekt i denne eller ej. I analyseperioden er der ved opstarten af Fredericia bryggeri sket en betydelig arbejdskraftsbesparelse ved anvendelse af el-forbrugende maskiner, hvilket i den valgte relation er udtrykt ved en meget stor koefficient til beskæftigelsen. Ved valg af denne relation forudsættes derfor implicit, at bryggeriernes el-forbrugende rationaliseringer vil fortsætte. Inkluderes beskæftigelsen ikke i relationen, stiger produktionselasticiteten til ca. 1, hvorimod priselasticiteten stort set er uændret. Dummy-variablen har samme begrundelse som i relationen for fast- og flydende brændsel, men er dog af mindre betydning i el-relationen.

$$\begin{aligned} \ln E_t^{ko} = & 3.283 + 0.736 \ln Q_t - 0.178 \ln (P_t^{ko}/P_t) \\ & (1.35) \quad (2.57) \quad (-1.62) \\ & - 0.233 \ln I_t + 0.515 * D_t^{ko} \\ & (-2.73) \quad (5.55) \\ R^2 = & 0.92 \quad DW = 2.10 \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^e = & 17.090 + 0.687 \ln Q_t - 0.128 \ln (P_t^e/P_t) \\ & (1.41) \quad (1.59) \quad (-0.44) \\ & - 1.672 \ln Emp_t + 0.269 * D_t^e \\ & (-1.67) \quad (1.16) \\ R^2 = & 0.65 \quad DW = 2.76 \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^{tr} = & 1.168 (1-0.764) + 0.448 (\ln Q_t - 0.764 \ln Q_{t-1}) \\ & (0.13) \quad (0.44) \\ & - 0.023 (\ln (P_t^{tr}/P_t) - 0.764 \ln (P_{t-1}^{tr}/P_{t-1})) \\ & (-0.11) \\ & + 0.984 (D_t^{tr} - 0.764 * D_{t-1}^{tr}) + 0.764 \ln E_{t-1}^{tr} \\ & (4.85) \quad (2.40) \\ R^2 = & 0.97 \quad DW = 1.13 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} E_t^k = & E_t^{ko} * 0.005 * (1 + (t-81) ** 2) \quad t = 81 \dots 84 \\ E_t^k = & E_t^{ko} * 0.10 \quad t = 85 \dots 110 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} - E_t^k \quad (4.5)$$

Leverandører til byggeriet

Denne branche består af modelbrancherne "Cementfabrikker", "Tegl-værker og fremstilling af isoleringsmaterialer" og "Leverandører til byggeriet iøvrigt". For hver af disse er i modellen valgt en bottom-up specifikation.

Som det fremgår af branchebeskrivelserne, er "Cementfabrikker" langt den mest energi-intensive af modellens brancher. Med en produktion på under 1% af industriens samlede produktion anvender cementfabrikkerne over 10% af industriens samlede energiforbrug. Af branchebeskrivelserne fremgår desuden, at branchen reelt set kun består af Ålborg Portland, hvilket betyder, at en prognose for branchens energiforbrug bliver forholdsvis usikker, da den i væsentlig grad afhænger af en enkelt virksomheds ud-

vikling, d.v.s. at enkelt-hændelser/beslutninger, som det er svært at forudsige, kan få en væsentlig indflydelse på udviklingen. Selv om cementfabrikkernes udvikling er blevet dybtgående analyseret, og det har været muligt at give en rimelig forklaring af den hidtidige udvikling, må en væsentlig del af modellens totale usikkerhed således siges at være knyttet til cementfabrikkernes udvikling.

Ser vi på de valgte relationer (5.1) - (5.6), bemærkes en total produktionselasticitet på 1.0 og en priselasticitet på -0.11. Overordnet betragtet har der i analyseperioden således været en snæver sammenhæng imellem branchens produktion og energiforbrug, hvorimod de umiddelbare effekter af energiprisstigninger har været minimale. Ser vi på relationerne for de enkelte typer, bemærkes, at både produktions- og priselasticiteterne for fast- og flydende brændsel er svagt større end for el, samt at der i begge relationer er en moderat og insignifikant substitution imellem arbejdskraft og energi. M.h.t. fast- og flydende brændsel skal bemærkes, at branchen i analyseperioden har været karakteriseret af en meget kraftig omlægning fra flydende- til fast brændsel, samt at det fremtidige split imellem disse 2 typer er afhængig af cementfabrikkernes output-sammensætning. Cementfabrikkerne producerer både hvid og grå cement, og hvor produktionen af hvid cement kræver anvendelse af flydende brændsel, kan grå cement også produceres ved anvendelse af fast brændsel. Splittet imellem fast- og flydende brændsel er frem til 1985 baseret på oplysninger fra Ålborg Portland. Efter 1985 er i mangel af bedre valgt et fast forhold med 2/3 fast og 1/3 flydende brændsel. Til prognoseformål skal iøvrigt bemærkes, at cementfabrikkerne fra 1986 planlægger at omlægge produktionsprocessen fra en våd til en semitør proces, hvorved der frem til 1990 forventes at blive sparet ca. 25% på forbruget af fast brændsel. Denne korrektion er beskrevet ved relation (5.6).

$$\ln E_t^{ko} = 4.797 + 1.043 \ln Q_t - 0.116 \ln (P_t^{ko} / P_t)$$

(0.77) (3.87) (-0.46)

$$- 0.297 \ln \text{Emp}_t + 0.382 * D_t^{ko}$$

(-0.43) (2.05)

$$R^2 = 0.71$$

$$DW = 1.29$$

$$(5.1)$$

$$\ln E_t^e = 4.436 + 0.790 \ln Q_t - 0.036 \ln(P_t^e/P_t) - 0.277 \ln \text{Emp}_t$$

(1.17) (2.53) (-0.12) (-0.83)

$$R^2 = 0.44 \quad DW = 1.43 \quad (5.2)$$

$$\ln E_t^{\text{tr}} = -6.477 + 1.316 \ln Q_t - 0.031 \ln(P_t^{\text{tr}}/P_t)$$

(-4.20) (5.89) (-0.20)

$$+ 2.068 * D_t^{\text{tr}}$$

(19.09)

$$R^2 = 0.99 \quad DW = 1.57 \quad (5.3)$$

$$\hat{E}_t^k = 0.66 * E_t^{k0} \quad t = 86 \dots 110 \quad (5.4)$$

$$E_t^0 = E_t^{k0} - \hat{E}_t^k \quad (5.5)$$

$$E_t^k = \hat{E}_t^k * 0.94 ** (t-86) \quad t = 86 \dots 90$$

$$E_t^k = \hat{E}_t^k * 0.75 \quad t = 91 \dots 110 \quad (5.6)$$

Ser vi på relationerne for "Teglværker og fremstilling af isoleringsmaterialer" (6.1) - (6.5), bemærkes ved sammenligning med "Cementfabrikkerne" meget små produktionselasticiteterne og forholdsvis høje energipriselasticiteter, d.v.s. i energimæssig sammenhæng har de 2 brancher udviklet sig væsentligt forskelligt. Specielt indenfor "Fremstilling af isoleringsmaterialer" er der i analyseperioden blevet foretaget ganske betydelige energibesparelser, primært på forbruget af flydende brændsel. M.h.t. splittet imellem fast- og flydende brændsel forventes dette at være forholdsvis konstant, efter at en del teglværker i 1981 og 82 substituerede fra flydende- til fast brændsel.

$$\ln E_t^{k0} = 7.579 + 0.485 \ln Q_t - 0.529 \ln(P_t^{k0}/P_t)$$

(5.76) (3.47) (-4.74)

$$- 0.245 \ln \text{Emp}_t$$

(-3.60)

$$R^2 = 0.76 \quad DW = 1.48 \quad (6.1)$$

$$\ln E_t^e = 2.089 * (1-0.715) + 0.731 * (\ln Q_t - 0.715 \ln Q_{t-1})$$

(0.73) (1.96)

$$- 0.167 * (\ln(P_t^e/P_t) - 0.715 \ln(P_{t-1}^e/P_{t-1}))$$

(-0.12)

$$+ 0.715 \ln E_{t-1}^e$$

(3.29)

$$R^2 = 0.69 \quad DW = 1.74 \quad (6.2)$$

$$\ln E_t^{tr} = 0.407 \underset{(1.37)}{(\ln Q_t - \ln Q_{t-1})} - 0.310 \underset{(-1.44)}{(\ln(P_t^{tr}/P_t))} \\ - \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}) + 0.880 \underset{(5.10)}{(D_t^{tr} - D_{t-1}^{tr})} + \ln E_{t-1}^{tr} \\ R^2 = 0.98 \quad DW = 1.32 \quad (6.3)$$

$$E_t^k = E_t^{ko} * (0.210 * (1.120^{** (t-80)})) \quad t = 81, 82 \\ E_t^k = E_t^{ko} * 0.30 \quad t = 83 \dots 110 \quad (6.4)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} - E_t^k \quad (6.5)$$

Ser vi endelig på "Leverandører til byggeriet iøvrigt", skal nævnes, at denne branche er forholdsvis inhomogen, at udviklingen i analyseperioden er kendetegnet ved et meget svingende produktionsniveau samt 2 dårligt forklarede toppe i energikoefficienterne i 1974 og 1979, hvilket har givet en del problemer med at bestemme relationerne for denne branche. Specielt har der været problemer med at bestemme relationen for fast- og flydende brændsel, hvor det statistisk set ikke har været muligt at diskriminere imellem på den ene side et stort konstant-led og en lille produktionselasticitet og på den anden side et lille konstant-led og en høj produktionselasticitet. Fortolkningsmæssig har man altså ikke statistisk kunnet diskriminere imellem et forholdsvis konstant forbrug af fast- og flydende brændsel og en næsten konstant energikoefficient for disse typer. Som det ses af relation (7.1), er der for modellen valgt en næsten konstant energikoefficient, d.v.s. en produktionselasticitet på ca. 1. Dummy-variablen er inkluderet for at fange toppene i energikoefficienterne i 1974 og 1979. Ser vi på el-relationen, bemærkes en forholdsvis lille produktionselasticitet, at investeringerne er el-besparende, samt at elprisen ikke er inkluderet. Forsøg med at inkludere elprisen gav positive og insignifikante koefficienter til elprisen. Endelig skal bemærkes, at dummy-variablen i denne relation inkluderes for at fange en top i elforbruget i 1974, hvorimod der ingen top er i elforbruget i 1979. M.h.t. splittet imellem fast- og flydende brændsel forventes, at den substitution, der fra 1980 til 83 er sket fra flydende- til fast brændsel, vil stabilisere sig, så fast brændsel fra 1984 vil udgøre 45% af forbruget af fast- og flydende brændsel.

$$\ln E_t^{ko} = 0.536 \begin{matrix} * \\ (4.06) \end{matrix} \begin{bmatrix} -0.872 + 1.088 \ln Q_t - 0.249 \ln(P_t^{ko}/P_t) \\ (-0.43) \quad (4.95) \quad (-1.16) \end{bmatrix} + \begin{matrix} + 0.551 * D_t^{ko} \\ (2.87) \end{matrix} + \begin{matrix} (1 - 0.536) \\ (4.06) \end{matrix} \ln E_{t-1}^{ko}$$

$$R^2 = 0.96 \quad DW = 1.78 \quad (7.1)$$

$$\ln E_t^e = 6.168 + 0.594 \ln Q_t - 0.438 \ln I_t + 0.213 * D_t^e$$

$$\begin{matrix} (2.32) & (2.00) & (-1.86) & (1.56) \end{matrix}$$

$$R^2 = 0.40 \quad DW = 1.02 \quad (7.2)$$

$$\ln E_t^{tr} = - 8.216 * \begin{matrix} (1 - 0.819) \\ (-1.16) \end{matrix} + 1.498 \begin{matrix} (\ln Q_t - 0.819 \ln Q_{t-1}) \\ (1.94) \end{matrix}$$

$$- 0.192 * \begin{matrix} (\ln(P_t^{tr}/P_t) - 0.819 \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1})) \\ (-0.64) \end{matrix}$$

$$+ 0.849 \begin{matrix} (D_t^{tr} - 0.819 * D_{t-1}^{tr}) \\ (3.53) \end{matrix} + 0.819 \ln E_{t-1}^{tr}$$

$$\begin{matrix} (2.48) \end{matrix}$$

$$R^2 = 0.95 \quad DW = 2.16 \quad (7.3)$$

$$E_t^k = E_t^{ko} * (0.25 * (1.2^{*(t-80)})) \quad t = 81 \dots 83$$

$$E_t^k = E_t^{ko} * 0.45 \quad t = 84 \dots 110$$

$$E_t^o = E_t^{ko} - E_t^k \quad (7.4)$$

Jern- og metalvareindustrien

Denne branche består af modelbrancherne "Jern- og metalværker og -støberier" og "Jern- og metalvareindustrien iøvrigt". Ser vi på "Jern- og metalværker og -støberier", har det, efter at have testet de alternative specifikationer for branchen samlet, vist sig nødvendigt at udskille jern- og stålværkerne fra resten af modelbranchen. Jern- og stålværkerne er domineret af stålvalseværket i Frederiksværk, der anvender ca. 95% af branchens totale energiforbrug, og de betydelige tekniske omlægninger, der er sket på stålvalseværket, har betydet meget dårlige resultater ved en samlet estimation for branchen. Jern- og stålværkernes energiforbrug er derfor fastlagt særskilt ud fra en teknisk analyse af udviklingen på stålvalseværket. De tekniske ændringer på stålvalseværket kan kort resumeres ved:

Før 1975 blev alt stål fremstillet i oliefyrede Siemens-Martin ovne.

I 1975 idriftsattes to elektriske lysbueovne, der forsynede pladevalseværket.

I 1980 lukkes S-M-ovnene, hvorefter al smeltning foregår i de elektriske lysbueovne.

Da stålvalseværkets omlægning må siges stort set at være tilendebragt, kan energiforbruget skønnes udfra de seneste års energiforbrug og produktion. I 1979, året før S-M-ovnene lukkedes, var energiforbruget pr. 1000 tons smeltet stål ca. 11.75 TJ fordelt med fast brændsel ca. 9%, flydende ca. 41% og el ca. 50%. Ved lukningen af S-M-ovnene forsvinder forbruget af fast brændsel, og en væsentlig del af forbruget af flydende brændsel substitueres med el. Efter 1980 er fordelingen på typer derfor ca. 28% flydende brændsel og ca. 72% el. Foruden denne substitution falder det totale energiforbrug ganske svagt til ca. 11 TJ/1000 tons smeltet stål, og efterhånden som den nye produktionsproces indarbejdes, forventes energiforbruget at falde yderligere til 10.5 TJ/1000 tons smeltet stål. Matematisk set kan dette udtrykkes som:

$$E_t^T = 11 * (0.985^{*(t-81)}) * ST_t \quad t = 82 \dots 84$$

$$E_t^T = 10.5 * ST_t \quad t = 85 \dots 110 \quad (8.1)$$

$$E_t^k = 0 \quad (8.2)$$

$$E_t^O = 0.280 * E_t^T \quad (8.3)$$

$$E_t^e = 0.719 * E_t^T \quad (8.4)$$

$$E_t^{tr} = 0.001 * E_t^T \quad (8.5)$$

For at bestemme udviklingen i jern- og stålværkernes energiforbrug kræves således et skøn over udviklingen i tons smeltet stål. Da stålproduktionen herhjemme for tiden er bestemt af et EF-regulativ, hvor de enkelte lande ved politiske forhandlinger

tildeles en kvote, er der ikke megen mening i at bestemme udviklingen via ADAM-branchens udvikling. Ved model-beregningerne er derfor valgt at lade tons smeltet stål svare til den faktiske udvikling for 1980-84, til de tildelte kvoter for 1985 og 86 og derefter stige jævnt til en fuld udnyttelse af stålvalseværkets kapacitet på 800.000 tons i 1990. Derefter holdes produktionen konstant frem til år 2010.

Ser vi på resten af branchen, d.v.s. jern- og metalværker og -støberier ekskl. jern- og stålværker, bemærkes dels et niveau-skift i branchens totale energiforbrug og dels en betydelig substitution fra fast brændsel til el i 1974. Dette skyldes, at man på jernstøberierne udskiftede de kulfyrede kupolovne med el-induktionsovne, og at disse har en konverteringseffektivitet, der er lavere end elværkernes, d.v.s. man får en betydelig stigning i branchens totale bruttoenergiforbrug. Den valgte relation for branchens totale energiforbrug (rel. 8.6) indeholder derfor en særdeles signifikant dummy-variabel, der skifter i 1973/74. Af denne relation bemærkes iøvrigt, at både produktions- og energipriskoefficienterne er forholdsvis små og insignifikante. At produktionselasticiteten er væsentligt mindre end 1 synes rimeligt, da der er et stort basisenergiforbrug til at holde ovne o.l. varme. I denne fortolkning er produktionselasticiteten et udtryk for sammenhængen imellem energiforbruget og produktionen indenfor den nuværende produktionskapacitet. Udvides kapaciteten, må energielasticiteten forventes at være højere, da et nyt anlæg også vil kræve et basisenergiforbrug.

Ser vi på forbruget af de enkelte typer, har det ikke været muligt at estimere rimelige relationer for disse. Som nævnt skete der i 1974 en betydelig substitution fra fast brændsel til el. Efter 1974 er forbruget af fast brændsel faldet yderligere til ca. 8% for stort set at forsvinde i 1985. Andelen af flydende brændsel er også faldende, da man på metalstøberierne udskifter oliefyrede ovne med elovne. Det forventes således, at andelen af flydende brændsel vil falde fra 33% i 1980 til ca. 20% i 1990. De valgte relationer for branchen er således givet ved:

$$\begin{aligned} \ln E_t^T &= 4.634 * (1+0.311) + 0.447 * (\ln Q_t + 0.311 \ln Q_{t-1}) \\ &\quad (1.89) \quad (1.46) \\ &\quad - 0.102 * (\ln(P_t^E/P_t) + 0.311 \ln(P_{t-1}^E/P_{t-1})) \\ &\quad (-0.79) \\ &\quad - 0.363 * (D_t^T + 0.311 * D_{t-1}^T) - 0.311 * \ln E_{t-1} \\ &\quad (-6.55) \quad (-0.97) \\ R^2 &= 0.91 \quad DW = 2.29 \end{aligned} \quad (8.6)$$

$$\begin{aligned} E_t^k &= E_t^T * (E_{t-1}^k / E_{t-1}^T * 0.60) \quad t = 81 \dots 84 \\ E_t^k &= 0.0 \quad t = 85 \dots 110 \end{aligned} \quad (8.7)$$

$$\begin{aligned} E_t^O &= E_t^T * (E_{t-1}^O / E_{t-1}^T * 0.95) \quad t = 81 \dots 90 \\ E_t^O &= E_t^T * 0.2 \quad t = 91 \dots 110 \end{aligned} \quad (8.8)$$

$$E_t^{tr} = E_{t-1}^{tr} \quad t = 81 \dots 110 \quad (8.9)$$

$$E_t^e = E_t^T - E_t^k - E_t^O - E_t^{tr} \quad t = 81 \dots 110 \quad (8.10)$$

Ser vi endelig på "Jern- og metalvareindustrien iøvrigt", har vi valgt at udskille skibsværfternes energiforbrug og sætte dette til konstant 3000 TJ. Grunden til dette er, at skibsværfternes produktion og energikoefficient varierer betydeligt og temmelig uforudsigeligt. De 3000 TJ er valgt som et gennemsnit over perioden 1977-82. For resten af branchen er valgt top-down specifikationen givet ved relationerne (9.1) - (9.5). Branchen er kendetegnet ved at være en teknisk set forholdsvis heterogen og ikke særlig energiintensiv branche, der består af mange virksomheder. Estimationsmæssigt er der ikke så meget at sige om branchen. For totalforbruget haves en forholdsvis høj og signifikant produktionselasticitet, en gennemsnitlig og signifikant priselasticitet samt en vis energibesparende effekt af investeringerne. M.h.t. de enkelte typer bestemmes fast- og flydende sammen, da forbruget af fast brændsel er minimalt. Elforbruget har haft en jævnt stigende andel af branchens totale energiforbrug, hvilket i andelsrelationerne har givet sig udslag i en positiv produktionskoefficient i el-relationen og en negativ koefficient i relationen for fast- og flydende brændsel.

$$\begin{aligned} \ln E_t^T &= 1.020 (1-0.519) + 0.967 (\ln Q_t - 0.519 \ln Q_{t-1}) \\ &\quad (0.30) \quad (3.26) \\ &\quad - 0.311 (\ln(P_t^E/P_t) - 0.519 \ln(P_{t-1}^E/P_{t-1})) \\ &\quad (-3.20) \\ &\quad - 0.190 (\ln I_t - 0.519 \ln I_{t-1}) + 0.519 \ln E_{t-1}^T \\ &\quad (-1.39) \quad (2.08) \\ R^2 &= 0.72 \quad DW \quad 2.27 \end{aligned} \quad (9.1)$$

$$\begin{aligned} s_t^{ko} &= 1.534 * [0.472 - 0.149 \ln(P_t^e/P_t^{ko}) - 0.027 \ln(P_t^{tr}/P_t^{ko}) \\ &\quad (5.76) \quad (20.77) \quad (-5.27) \quad (-3.41) \\ &\quad - 0.051 \ln(NQ_t)] + \\ &\quad (-1.50) \\ &\quad (0.250 - 1.534) * [0.472 - 0.149 \ln(P_{t-1}^e/P_{t-1}^{ko}) \\ &\quad (2.78) \\ &\quad - 0.027 \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}^{ko}) - 0.051 \ln(NQ_{t-1})] \\ &\quad + (1 - 0.250) * s_{t-1}^{ko} \\ R^2 &= 0.98 \quad DW = 2.80 \end{aligned} \quad (9.2)$$

$$\begin{aligned} s_t^e &= 1.534 * [0.474 - 0.149 \ln(P_t^{ko}/P_t^e) - 0.006 \ln(P_t^{tr}/P_t^e) \\ &\quad (22.26) \quad (-2.75) \\ &\quad + 0.064 \ln(NQ_t)] + \\ &\quad (1.97) \\ &\quad (0.250 - 1.534) * [0.474 - 0.149 \ln(P_{t-1}^{ko}/P_{t-1}^e) \\ &\quad - 0.006 \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}^e) + 0.064 \ln(NQ_{t-1})] \\ &\quad + (1 - 0.250) * s_{t-1}^e \\ R^2 &= 0.98 \quad DW = 2.80 \end{aligned} \quad (9.3)$$

$$s_t^{tr} = 1 - s_t^{ko} - s_t^e \quad (9.4)$$

$$E_t^k = E_t^{ko} * 0.013 \quad t = 81 \dots 110 \quad (9.5)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} - E_t^k \quad (9.6)$$

Kemisk industri

Denne branche består af modelbrancherne "Kemiske råstoffer og gødning" og "Kemisk industri iøvrigt", for hvilke der h.h.v. er valgt en top-down og en bottom-up specifikation. Ser vi på branchen "Kemiske råstoffer og gødning", er produktionen af kemiske

råstoffer kendetegnet ved i højere grad at være en forædling end en egentlig råstofproduktion, d.v.s. energikoefficienten er ikke specielt stor og har i analyseperioden iøvrigt været næsten konstant. Ser vi på gødningsproduktionen sker der i 1976-77 et ganske betydeligt fald i energikoefficienten, som det ikke er lykkedes at finde en forklaring på. Ser vi på den valgte relation for branchens totale energiforbrug (rel. 10.1), bemærkes en gennemsnitlig produktionselasticitet og en meget lille priselasticitet. Investeringerne har en energibesparende effekt, og dummy-variablen er inkluderet for at fange en top i 1972, d.v.s. dummy-variablen er 0 i 72 og ellers 1. Ser vi på relationerne for de enkelte typer, er forbruget af fast brændsel 0, og der er en produktionsafhængig substitution fra flydende brændsel til el.

$$\begin{aligned} \ln E_t^T &= 4.357 + 0.827 \ln Q_t - 0.079 \ln(P_t^E/P_t) \\ &\quad (3.06) \quad (3.87) \quad (0.64) \\ &\quad - 0.368 \ln I_t - 0.161 * D_t^T \\ &\quad (1.83) \quad (1.28) \\ R^2 &= 0.75 \quad DW = 1.92 \end{aligned} \quad (10.1)$$

$$\begin{aligned} s_t^{ko} &= 1.178 * [0.481 - 0.169 \ln(P_t^E/P_t^{ko}) - 0.006 \ln(P_t^{tr}/P_t^{ko}) \\ &\quad (6.77) \quad (26.72) \quad (-5.46) \quad (-3.38) \\ &\quad - 0.151 \ln(NQ_t)] + \\ &\quad (-2.31) \\ &\quad (0.685 - 1.178) * [0.481 - 0.169 \ln(P_{t-1}^E/P_{t-1}^{ko}) \\ &\quad (3.77) \\ &\quad - 0.006 \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}^{ko}) - 0.151 \ln(NQ_{t-1})] \\ &\quad + (1 - 0.685) * s_{t-1}^{ko} \\ R^2 &= 0.90 \quad DW = 1.35 \end{aligned} \quad (10.2)$$

$$\begin{aligned} s_t^e &= 1.178 * [0.512 - 0.169 \ln(P_t^{ko}/P_t^E) - 0.001 \ln(P_t^{tr}/P_t^E) \\ &\quad (28.55) \quad (2.36) \\ &\quad + 0.150 \ln(NQ_t)] \\ &\quad (2.31) \\ &\quad (0.685 - 1.178) * [0.512 - 0.169 \ln(P_{t-1}^{ko}/P_{t-1}^E) \\ &\quad - 0.001 \ln(P_{t-1}^{tr}/P_{t-1}^E) + 0.150 \ln(NQ_{t-1})] \\ &\quad + (1 - 0.685) * s_{t-1}^e \\ R^2 &= 0.90 \quad DW = 1.35 \end{aligned} \quad (10.3)$$

$$s_t^{tr} = 1 - s_t^{ko} - s_t^e \quad (10.4)$$

$$E_t^k = 0 \quad t = 81 \dots 110 \quad (10.5)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} \quad (10.6)$$

Ser vi på "Kemisk industri iøvrigt", er denne branche kendetegnet ved at være temmelig heterogen og ikke særlig energintensiv. I perioden 1973-77 domineres branchen energimæssigt af Pyrolysegasværket, der opgørelsesmæssigt flyttes til denne branche i 1973, og som lukkes i 1977. Ses der bort fra Pyrolysegasværket, har branchen i analyseperioden haft en jævn og rolig udvikling med svagt faldende energikoefficienter og en jævn substitution fra flydende brændsel til el. Ser vi på de valgte relationer, bemærkes en lille produktionselasticitet for fast- og flydende brændsel og en stor el-elasticitet. Samlet har branchen en gennemsnitlig produktionselasticitet, d.v.s. substitutionen imellem fast- og flydende brændsel og el beskrives ved meget forskellige produktionselasticiteter for de 2 typer. Branchens totale priselasticitet er forholdsvis stor, hvilket skyldes en specielt stor priselasticitet for el-forbruget. M.h.t. dummyvariablen, der inkluderes for at korrigere for Pyrolyseværket, d.v.s. 1 i perioden 73-77 og ellers 0, bemærkes, at koefficienten til denne er specielt stor og signifikant for fast- og flydende brændsel, hvorimod den i el-relationen er relativt lille og insignifikant. Endelig bemærkes, at investeringerne har en ikke ubetydelig besparende effekt i relationen for fast- og flydende brændsel, samt at forbruget af fast brændsel har været minimalt i analyseperioden og er sat til 0 efter 1980.

$$\begin{aligned} \ln E_t^{ko} = & 9.224 + 0.286 \ln Q_t - 0.110 \ln (P_t^{ko}/P_t) \\ & (3.51) \quad (1.17) \quad (-0.42) \\ & - 0.510 \ln I_t + 0.906 D_t^{ko} \\ & (-1.29) \quad (10.32) \\ R^2 = & 0.94 \quad DW = 1.83 \end{aligned} \quad (11.1)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^e = & 0.506 * [-3.480 + 1.254 \ln Q_t - 0.745 \ln (P_t^e/P_t) \\ & (3.18) \quad (-1.50) \quad (5.11) \quad (-1.13) \\ & + 0.136 * D_t^e] + (1 - 0.506) * \ln E_{t-1}^e \\ & (1.24) \\ R^2 = & 0.96 \quad DW = 2.28 \end{aligned} \quad (11.2)$$

$$\ln E_t^{\text{tr}} = - 3.432 + 0.940 \ln Q_t - 0.433 \ln (P_t^{\text{tr}} / P_t)$$

(-1.81) (4.78) (-3.86)

$$- 0.192 * D_t^{\text{tr}}$$

(-2.74)

$$R^2 = 0.71 \quad DW = 2.78 \quad (11.3)$$

$$E_t^k = 0 \quad t = 81 \dots 110 \quad (11.4)$$

$$E_t^O = E_t^{ko} \quad (11.5)$$

Anden fremstillingsvirksomhed

Denne sidste ADAM-branche består af de 3 modelbrancher: "Papir- og papfabrikker", "Keramik og glas" og "Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt", hvor der for den første er valgt en top-down specifikation, og for de 2 andre er valgt bottom-up specifikationer.

Ser vi på "Papir- og papfabrikker" er branchen karakteriseret af relativt få energiintensive virksomheder, der anvender meget store kapitalintensive maskiner, der kun meget langsomt udskiftes. Energibesparelser i denne branche er derfor primært opnået ved en bedre styring og ikke ved udskiftning af kapitalapparat. Endelig skal bemærkes, at branchen har et ganske betydeligt basisenergiforbrug, der kun i begrænset omfang varierer med ændringer i produktionen. Ser vi på den valgte relation for branchens totale energiforbrug (12.1), bemærkes at ingen af koefficienterne er signifikante. Produktionskoefficienten er relativt stor, og priselasticiteten er gennemsnitlig. Den inkluderede dummy-variabel er 1 i 74 og ellers 0. Branchens energiforbrug topper i 1974 dels p.g.a. en kraftig produktionsstigning men også p.g.a. en betydelig substitution fra flydende til fast brændsel. Dummy-variablen er inkluderet for at korrigere for den lageropbygning af kul, som denne substitution har givet anledning til. Ser vi på de enkelte typer, har det ikke været muligt statistisk at bestemme substitutionen fra flydende til fast brændsel, hvorfor disse bestemmes sammen. Da konverteringen til fast brændsel er foretaget på de virksomheder, hvor dette kan lade sig gøre, forventes fast brændsel i fremtiden at

udgøre en konstant andel af branchens forbrug af fast- og flydende brændsel. Elforbruget forventes at udgøre en svagt stigende andel af branchens totale energiforbrug, hvilket i elrelationen har givet sig udslag i en svagt positiv koefficient til produktionen og i relationen for fast- og flydende brændsel en svagt negativ koefficient til denne.

$$\begin{aligned} \ln E_t^T &= 0.652 * [2.275 + 0.919 \ln Q_t - 0.216 \ln (P_t^E / P_t) + 0.365 * D_t^T] \\ &\quad (1.45) \quad (0.28)(0.79) \quad (-0.62) \quad (1.60) \\ &\quad + (0.354 - 0.652) * [2.275 + 0.919 \ln Q_{t-1} - 0.216 \ln (P_{t-1}^E / P_{t-1}) \\ &\quad (1.09) \\ &\quad + 0.365 * D_{t-1}^T] + (1 - 0.354) \ln E_{t-1}^T \\ R^2 &= 0.79 \quad DW = 2.01 \end{aligned} \quad (12.1)$$

$$\begin{aligned} s_t^{ko} &= 0.643 - 0.160 \ln (P_t^e / P_t^{ko}) - 0.0003 \ln (P_t^{tr} / P_t^{ko}) \\ &\quad (64.25) \quad (-13.40) \quad (-0.22) \\ &\quad - 0.008 \ln (NQ_t) \\ &\quad (-0.21) \\ R^2 &= 0.92 \quad DW = 1.49 \end{aligned} \quad (12.2)$$

$$\begin{aligned} s_t^e &= 0.354 - 0.160 (P_t^{ko} / P_t^e) - 0.001 \ln (P_t^{tr} / P_t^e) \\ &\quad (35.44) \quad (-2.55) \\ &\quad + 0.008 \ln (NQ_t) \\ &\quad (0.21) \\ R^2 &= 0.93 \quad DW = 1.45 \end{aligned} \quad (12.3)$$

$$s_t^{tr} = 1 - s_t^{ko} - s_t^e \quad (12.4)$$

$$E_t^k = 0.57 * E_t^{ko} \quad t = 81 \dots 110 \quad (12.5)$$

$$E_t^O = E_t^{ko} - E_t^k \quad (12.6)$$

Ser vi på "Keramik og glasværker", er branchen energimæssigt domineret af enkelte store energiintensive virksomheder indenfor glasbranchen. I analyseperioden er udviklingen karakteriseret af betydeligt og (bortset fra 1972-73) jævnt faldende energikoefficienter, således at energikoefficienten i 1980 er under det halve af energikoefficienten i 1970. De væsentligste årsager til faldet i energikoefficienten er en ændret produktionssammensætning mod mere og mere forarbejdede og mindre energikrævende produkter, en centralisering af produktionen og lukning af energimæssigt ineffektive ovne samt en generelt bedre styring af

ovnenes energiforbrug. Ser vi på de valgte relationer (13.1) - (13.5), bemærkes for både fast- og flydende brændsel og el moderate produktionselasticiteter og betydelige og stærkt signifikante priselasticiteter. For fast- og flydende brændsel bemærkes desuden en signifikant energibesparende effekt af investeringerne. Endelig er der for at fange toppen i energiforbruget i 1972 og 73 inkluderet en dummy-variabel, der er 1 i 1972 og 73 og ellers 0.

$$\begin{aligned} \ln E_t^{ko} = & 3.171 * (1-0.551) + 0.769 * (\ln Q_t - 0.551 \ln Q_t) \\ & (1.80) \quad (7.04) \quad (3.20) \\ & - 0.493 * (\ln(P_t^{ko}/P_t) - 0.551 \ln(P_{t-1}^{ko}/P_{t-1})) \\ & (-7.97) \\ & - 0.164 * (\ln I_t - 0.551 \ln I_{t-1}) \\ & (-2.35) \\ & + 0.175 * (D_t^{ko} - 0.551 D_{t-1}^{ko}) + 0.551 \ln E_{t-1}^{ko} \\ & (-2.88) \\ R^2 = & 0.99 \quad DW = 2.66 \end{aligned} \quad (13.1)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^e = & 2.520 + 0.603 \ln Q_t - 0.784 \ln(P_t^e/P_t) + 0.306 * D_t^e \\ & (1.23) \quad (2.12) \quad (-2.05) \quad (1.95) \\ R^2 = & 0.64 \quad DW = 1.09 \end{aligned} \quad (13.2)$$

$$\begin{aligned} \ln E_t^{tr} = & -9.110 + 1.640 \ln Q_t + 1.029 * D_t^{tr} \\ & (-7.27) \quad (9.64) \quad (17.09) \\ R^2 = & 0.96 \quad DW = 1.14 \end{aligned} \quad (13.3)$$

$$E_t^k = 0 \quad t = 81 \dots 110 \quad (13.4)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} \quad (13.5)$$

Ser vi endelig på "Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt", er denne branche en relativt stor ikke særlig energiintensiv branche, der er sammensat af meget forskellige virksomheder. Udviklingsmæssigt har branchen været karakteriseret af svagt faldende energikoefficienter med et jævnt fald i forbruget af fast- og flydende brændsel og en jævn stigning i elforbruget. Estimationsmæssigt har denne udvikling givet ganske alvorlige problemer med relationen for fast- og flydende brændsel. En jævnt stigende produktion og et jævnt faldende forbrug af fast- og flydende brændsel medfører i samtlige testede specifikationer en negativ

produktionskoefficient. I den valgte relation er produktionskoefficienten à priori sat til 0.5, da produktionskoefficienten i en relation for branchens totale energiforbrug samt i relationerne for el og transport brændsel er estimeret til ca. 0.5. Ellers bemærkes en ganske pæn priselastisitet og en energibesparende effekt af investeringerne i el-relationen, samt at forbruget af fast brændsel forventes at udgøre en lille og konstant andel af forbruget af fast- og flydende brændsel.

$$\ln E_t^{ko} = 3.752 + 0.500 \ln Q_t - 0.145 \ln (P_t^{ko}/P_t) + 0.165 * D_t^{ko} \\ (126.32) \quad (-1.72) \quad (2.14) \\ R^2 = 0.81 \quad DW = 1.67 \quad (14.1)$$

$$\ln E_t^e = 4.373 * (1-0.862) + 0.556 * (\ln Q_t - 0.862 \ln Q_{t-1}) \\ (0.54) \quad (5.18) \quad (0.71) \\ - 0.588 * (\ln (P_t^e/P_t) - 0.862 \ln (P_{t-1}^e/P_{t-1})) \\ (1.47) \\ - 0.170 (\ln I_t - 0.862 \ln I_t) + 0.227 (D_t^e - 0.862 D_{t-1}^e) \\ (1.38) \quad (1.69) \\ + 0.862 \ln E_{t-1}^e \\ R^2 = 0.94 \quad DW = 1.84 \quad (14.2)$$

$$\ln E_t^{tr} = 2.588 + 0.561 \ln Q_t - 0.102 \ln (P_t^{tr}/P_t) \\ (0.52) \quad (1.19) \quad (-0.48) \\ - 0.288 \ln I_t + 0.615 * D_t^{tr} \\ (-1.57) \quad (3.81) \\ R^2 = 0.92 \quad DW = 1.44 \quad (14.3)$$

$$E_t^k = 0.093 * E_t^{ko} \quad t = 81 \dots 110 \quad (14.4)$$

$$E_t^o = E_t^{ko} - E_t^k \quad (14.5)$$

5. TEST OG ANVENDELSE AF MODELLEN

5.1. Indledning

For at give et indtryk af modellens egenskaber skal i dette kapitel gennemgås tre kørsler med modellen. Den første kørsel er en dynamisk simulering, hvor modellen startes i 1967 og beregner udviklingen frem til 1980. Denne kørsel anvendes til at teste modellens evne til at forklare udviklingen i estimationsperioden. I den anden kørsel beregnes energiforbruget i estimationsperioden under forskellige antagelser om udviklingen i de forklarende variable. Denne kørsel anvendes dels til elasticitetsanalyser og dels til at belyse, hvordan udviklingen i enkelte centrale variable har påvirket udviklingen i energiforbruget. Endelig er modellen startet i 1980 og fremskrevet til år 2010. Denne kørsel anvendes dels til at teste modellens kort-sigtede forecast-evne og dels til at belyse modellens mere lang-sigtede egenskaber. Den kort-sigtede forecast-evne analyseres ved at sammenligne det faktiske og det beregnede energiforbrug for 1982, der er det seneste år, for hvilket Danmarks Statistik p.t. har offentliggjort energibalancer.

5.2. En anden analyse af modellens forklaringsevne

For at analysere modellens evne til at forklare udviklingen i estimationsperioden er modellen startet i 1967, og udviklingen frem til 1980 er beregnet v.hj.a. en dynamisk simulering. Bortset fra laggede værdier af energiforbruget er energimodellens forklarende variable givet observerede værdier, d.v.s. analysen er koncentreret om de fejl, energimodellen giver anledning til, hvorimod fejl i f.eks. split-modellen og andre beregninger af udviklingen i de forklarende variable ikke er behandlet.

Analysen er iøvrigt koncentreret om forklaringen af det totale energiforbrug samt af forbruget af flydende brændsel og el.

Transport energiforbruget er generelt set meget lille, og forbruget af fast brændsel er i den historiske analyse sat lig det faktiske forbrug. Da fast- og flydende brændsel i modellen simuleres samlet, og fast brændsel er sat lig det faktiske forbrug, er fejlen på forbruget af flydende brændsel et udtryk for den samlede fejl i relationen for fast- og flydende brændsel.

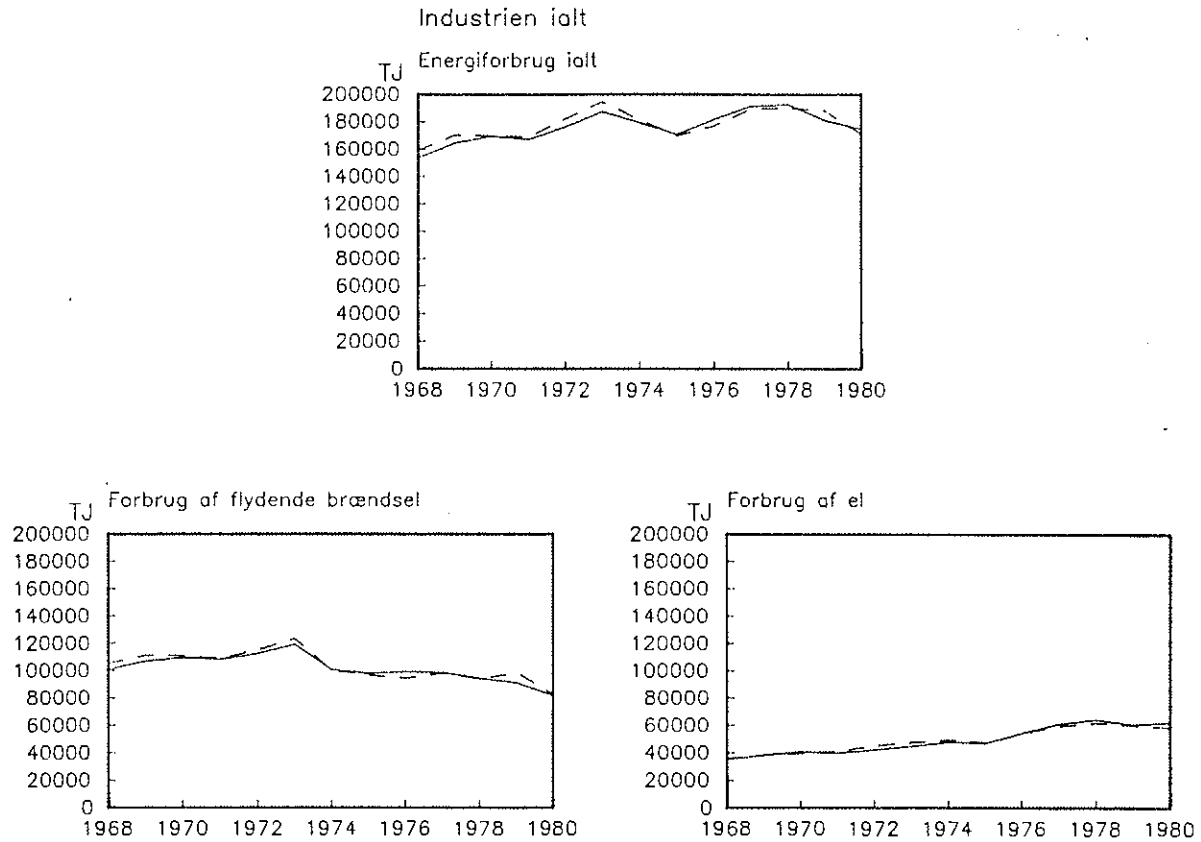
En oversigt over den %-vise afvigelse imellem det faktiske og det beregnede energiforbrug er givet i tabel 5.1, og figurerne 5.1 - 5.7 indeholder plots over det faktiske og det beregnede energiforbrug for industrien ialt og for de enkelte ADAM-brancher.

Tabel 5.1. Sammenligning af det faktiske og det beregnede energiforbrug

| | Gennemsnitlige afvigelse | | | Maksimale afvigelse | | |
|-------------------------------|--------------------------|----------|-------|---------------------|----------|-------|
| | 1968-80 | | | 1968-80 | | |
| | Total | Flydende | El | Total | Flydende | El |
| Industrien ialt | 2.2% | 2.6% | 3.1% | 3.8% | 5.6% | 6.9% |
| Næringsmiddelindustrien | 2.9% | 3.4% | 3.8% | 6.7% | 8.1% | 8.9% |
| Nydelsesmiddelindustrien | 5.2% | 6.7% | 10.1% | 17.9% | 25.4% | 24.7% |
| Leverandører til byggeriet | 5.6% | 9.8% | 7.3% | 9.3% | 14.7% | 13.5% |
| Jern- og metalindustrien | 2.2% | 2.5% | 2.5% | 4.4% | 6.6% | 5.0% |
| Kemisk industri | 4.9% | 8.3% | 4.7% | 17.8% | 21.9% | 14.5% |
| Anden fremstillingsvirksomhed | 3.0% | 5.7% | 5.9% | 8.1% | 16.7% | 14.9% |

Ser vi på udviklingen for industrien ialt, bemærkes af fig. 5.1, at modellen synes at give en ganske pæn beskrivelse af udviklingen i estimationsperioden, både hvad angår det totale energiforbrug og udviklingen i de enkelte typer. For det totale energiforbrug er den gennemsnitlige afvigelse imellem det beregnede og det faktiske energiforbrug 2.2%, og den maksimale afvigelse i estimationsperioden er 3.8%. For de enkelte typer er afvigelserne lidt større, men som det ses af tabel 5.1 stadig meget små. En anden ting, der bemærkes af figur 5.1, er, at modellen, selv om den ikke fanger alle ændringer perfekt, ikke akkumulerer

fejlene, men på længere sigt tenderer mod det observerede forbrug, d.v.s. ved forecasts kan modellen forventes at give centrale skøn, selv om den ikke nødvendigvis rammer forbruget i det enkelte år.



Figur 5.1. Historisk simulering for industrien ialt

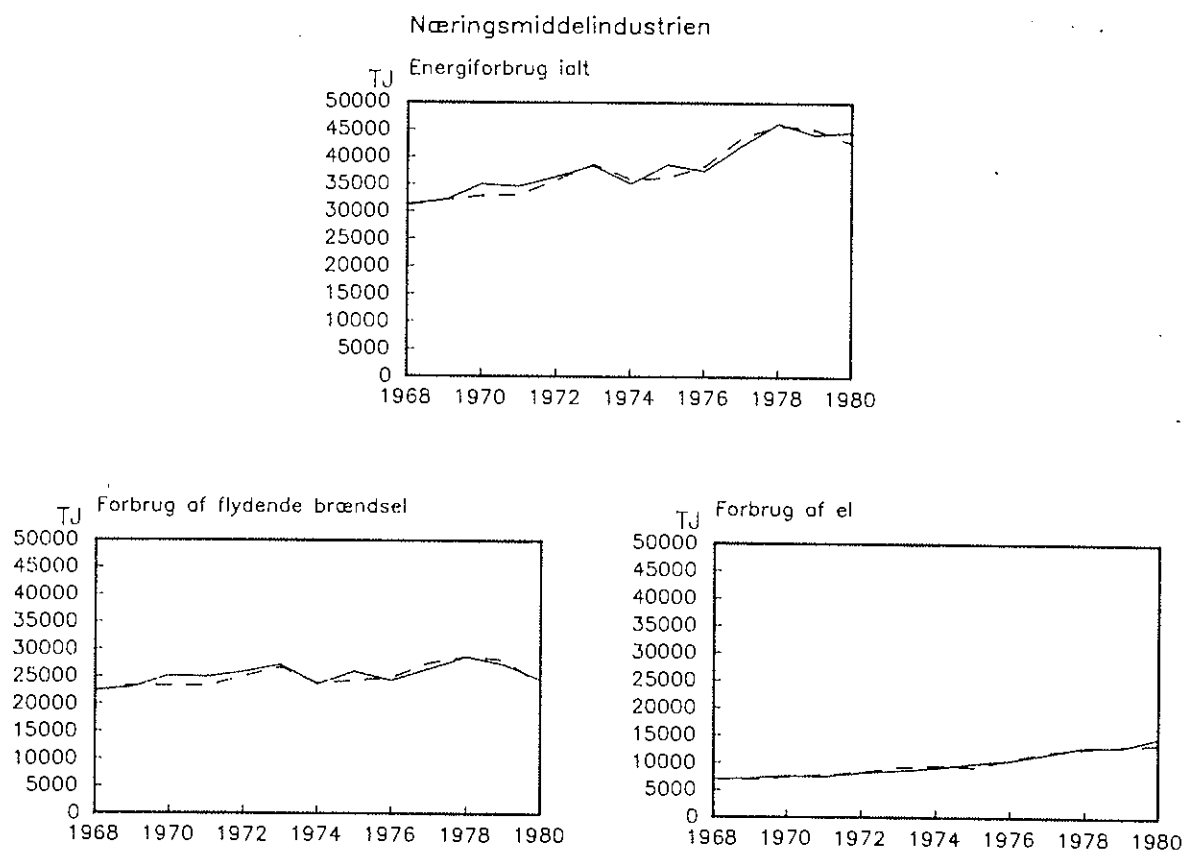
Ser vi på resultaterne for de enkelte ADAM-brancher, bemærkes at afvigelserne er størst for brancherne "Nydelsesmiddelindustrien", "Leverandører til byggeriet" og "Kemisk industri". Af figurerne bemærkes for nydelsesmiddelindustrien, at modellen egentlig fanger udviklingen ganske pænt, men at den specielt efter 1973 har problemer med at fange de årlige udsving. I 1974 undervurderer modellen energiforbruget betydeligt, men allerede i 1975 rammer modellen den faktiske udvikling. Dette kunne tyde på, at modellen for denne branche er hurtigere til at reagere på prisændringer end virkeligheden.

Ser vi på "Leverandører til byggeriet", bemærkes af figur 5.4, at der for denne branche er tale om et helt anderledes alvorligt problem end for de andre brancher. Modellen overvurderer forbruget fra 1968-74, undervurderer forbruget 1975-79 og overvurderer forbruget svagt i 1980, d.v.s. modellen har generelt svært ved at fange udviklingen, og man kan over længere perioder ikke være sikker på, at modellen giver et centralt skøn. Ser vi på underbrancher til "Leverandører til byggeriet", viser problemet sig at være en betydelig overvurdering af energiforbruget i "Teglværker og fremstilling af isoleringsmateriale" i perioden 1968-74 og en undervurdering af "Cementfabrikkernes" energiforbrug i perioden 1973-79. Karakteristisk for begge disse underbrancher er, at de er meget energi-intensive og domineret af enkelte store virksomheder, og skønt udviklingen er blevet analyseret indgående både økonomisk og teknisk, er det altså ikke lykkedes at finde relationer, der på overbevisende måde kan forklare den hidtidige udvikling. M.h.t. forecasts med modellen må udviklingen i disse underbrancher følges nøje, og man må forvente at skulle korrigere prognosen for specifikke energibesparende tiltag i disse brancher. Ser vi f.eks. på "Cementfabrikkerne", er det velkendt, at der planlægges en overgang fra en våd til en semi-tør produktionsproces, hvilket en prognose bør korrigeres for ved at følge, hvor hurtigt denne omlægning faktisk gennemføres. Under alle omstændigheder må en væsentlig del af den samlede prognoses usikkerhed tilskrives usikkerheden omkring disse 2 modelbranchers udvikling.

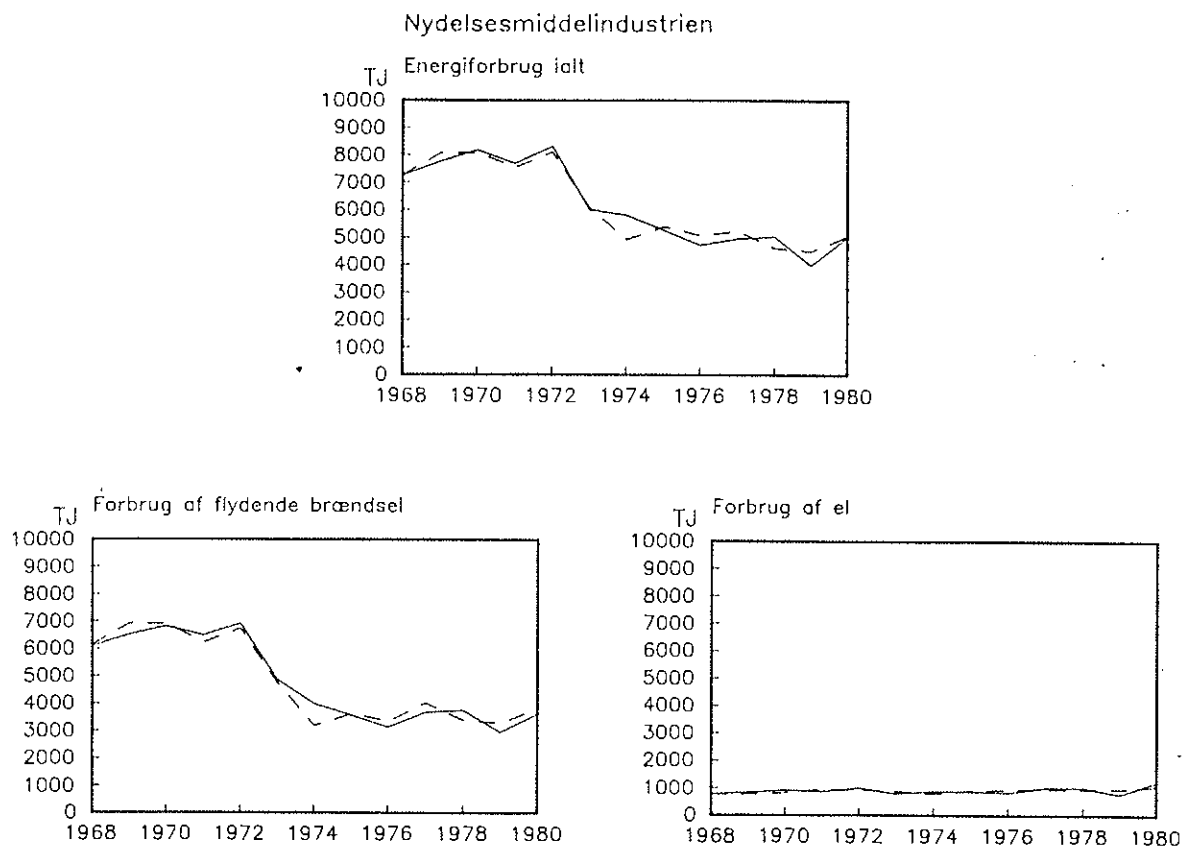
Ser vi endelig på "Kemisk industri", bemærkes af figur 5.6, at den betydelige afvigelse imellem det faktiske og det beregnede energiforbrug altovervejende skyldes pyrolysegasværkets flytning til denne branche i 1973, og at lukningen i 1978 ikke fyldestgørende kan beskrives ved en dummy-variabel. Ses der bort fra dette, synes modellen at give en ganske rimelig beskrivelse af udviklingen.

Konkluderende må man sige, at modellen i estimationsperioden synes at give en ganske rimelig beskrivelse af udviklingen i industriens energiforbrug. M.h.t. forecasts skal man være spe-

cielt opmærksom på "Cementfabrikkerne" og "Teglværker og fremstilling af isoleringsmateriale", og det må forventes, at udviklingen i disse 2 modelbrancher vil give anledning til korrektioner af en prognose.



Figur 5.2. Historisk simulering for "Næringsmiddelindustrien"



Figur 5.3. Historisk simulering for "Nydelsesmiddelindustrien"

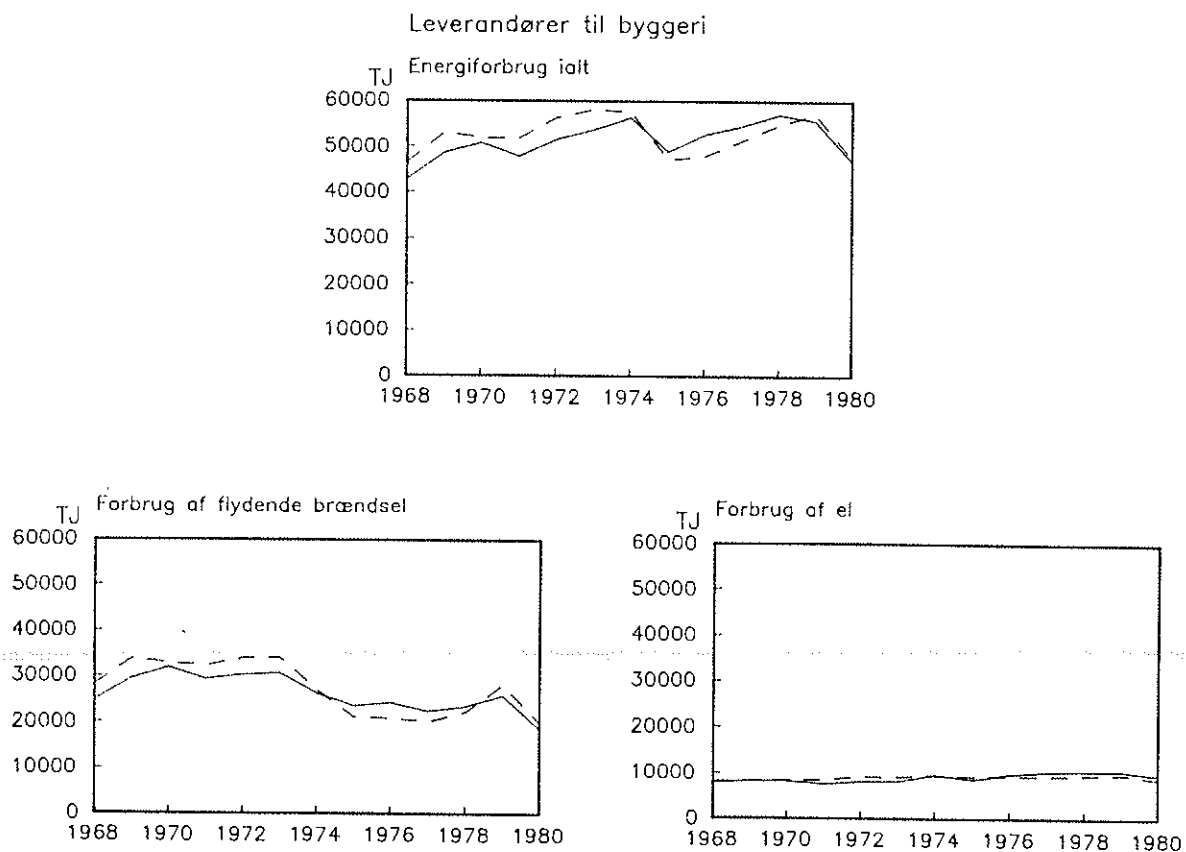
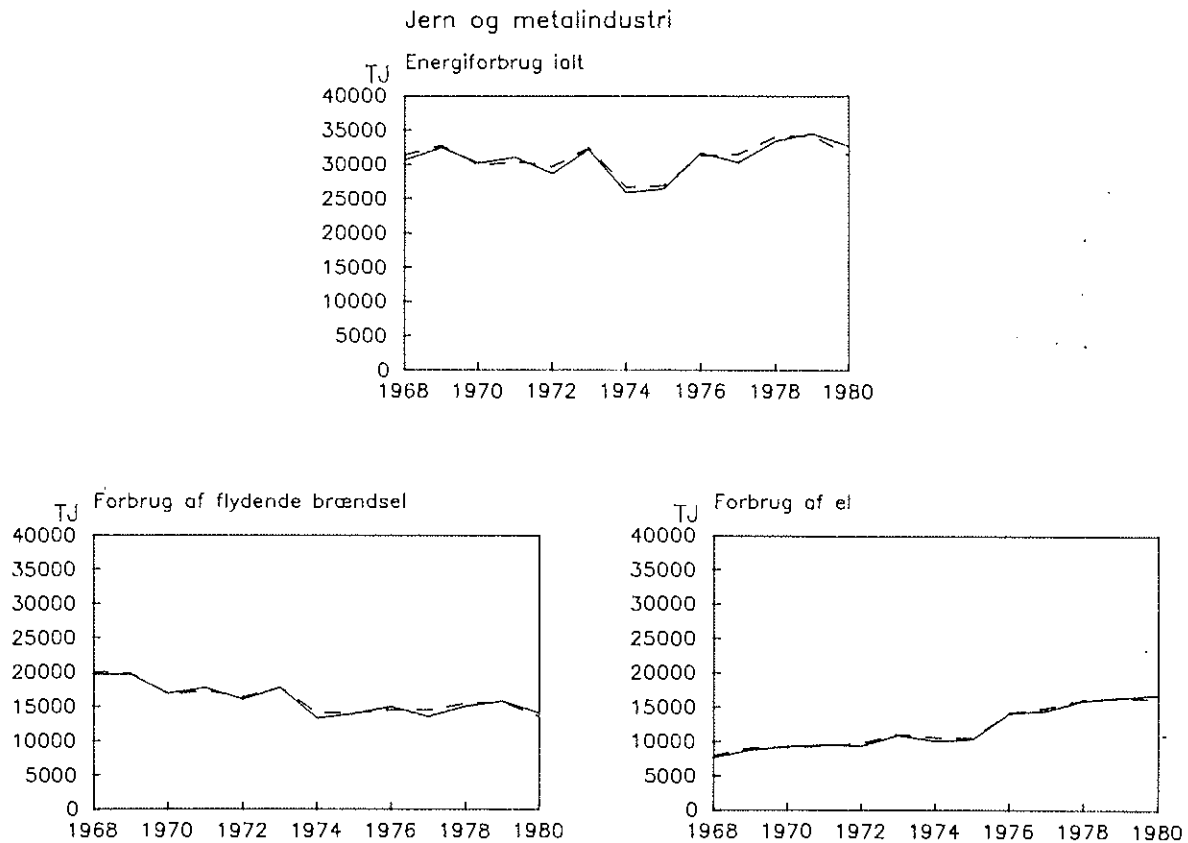
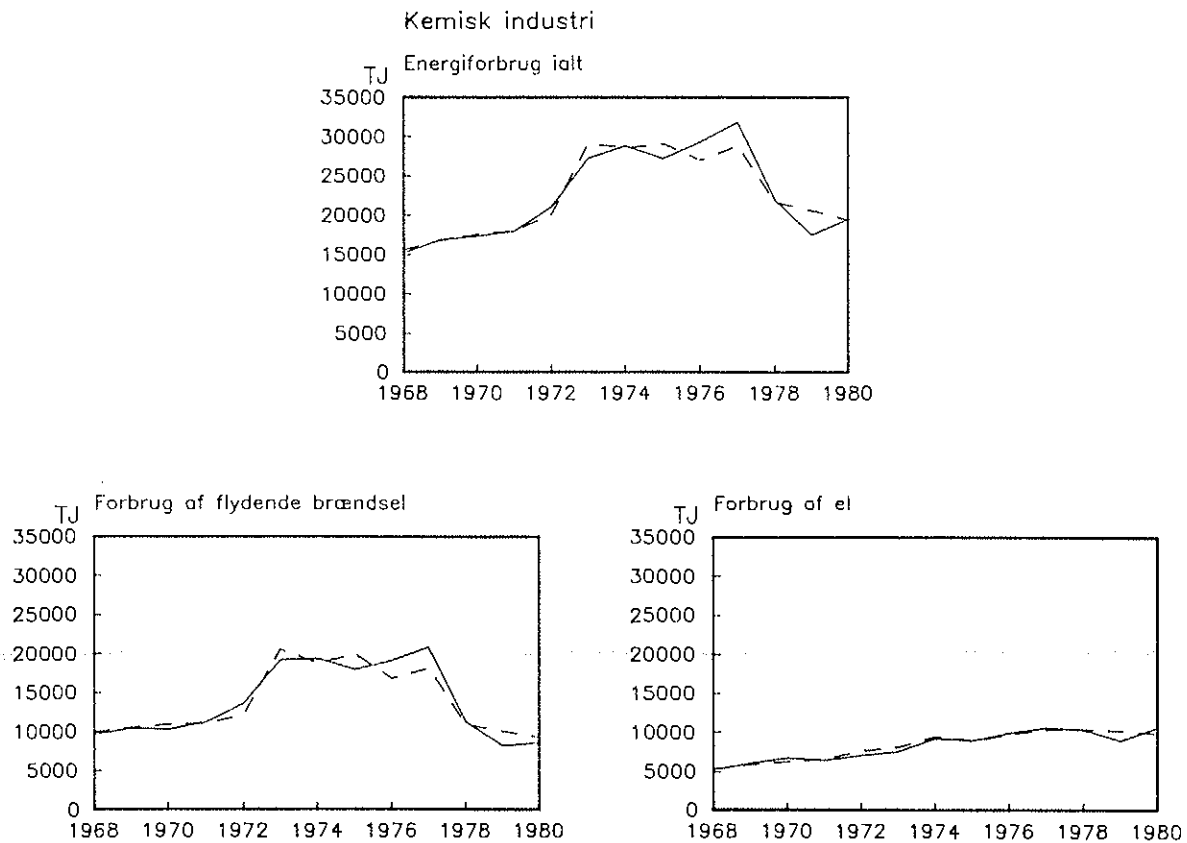


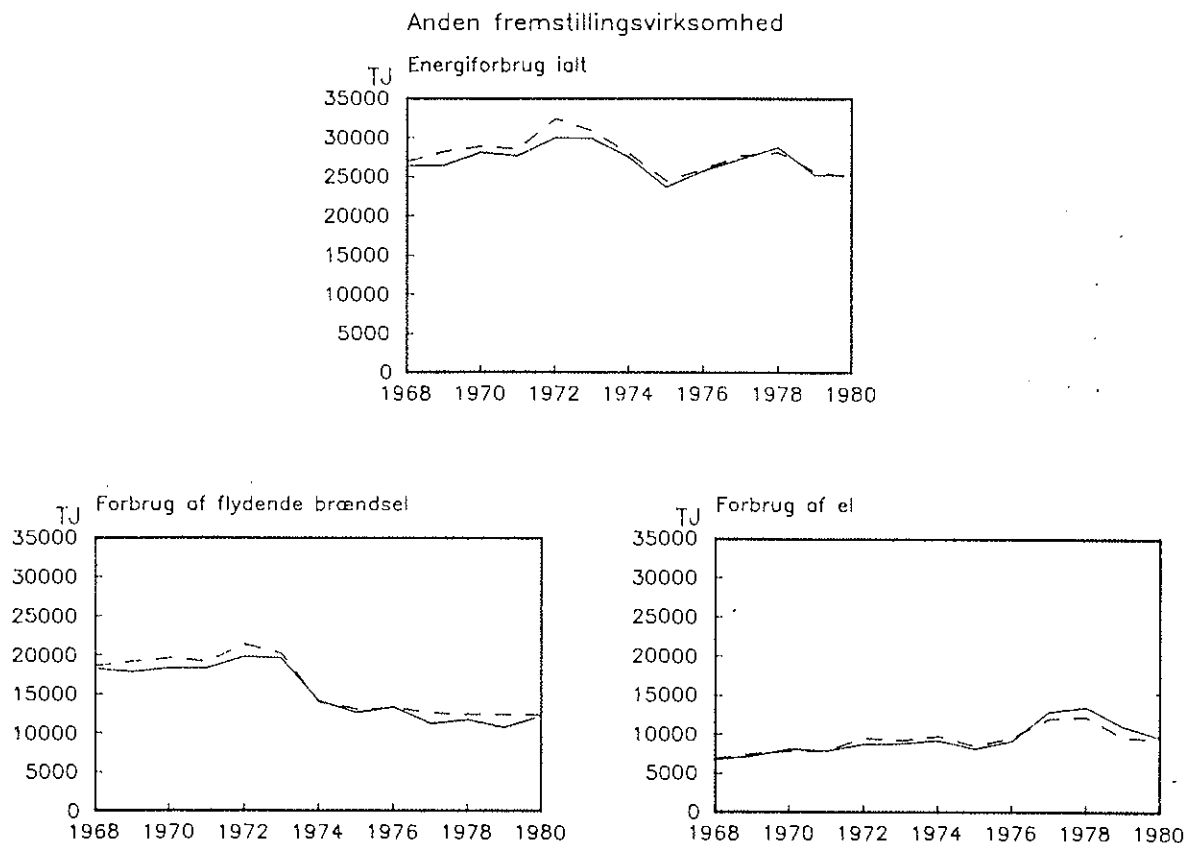
Fig. 5.4. Historisk simulering for "Leverandører til byggeriet"



Figur 5.5. Historisk simulering for "Jern- og metalindustrien"



Figur 5.6. Historisk simulering for "Kemisk industri"



Figur 5.7. Historisk simulering for "Anden fremstillingsvirksomhed"

5.3. Elasticitetsanalyser og effekten af strukturændringer

For at belyse effekten af hidtidige ændringer i centrale forklarende variable samt at give et skøn på modellens implicitte multiplikatorer skal i dette afsnit sammenlignes forskellige simuleringer, hvor der antages alternative udviklinger i enkelte forklarende variable. De forklarende variable, der er analyseret, er produktionen og energipriserne. Udgangspunktet for sammenligningerne er en dynamisk simulering over perioden 1967-81, hvor de forklarende variable er givet observerede værdier.

Ser vi på effekten af produktionsændringer, er den faktiske udvikling blevet sammenlignet med følgende alternativer:

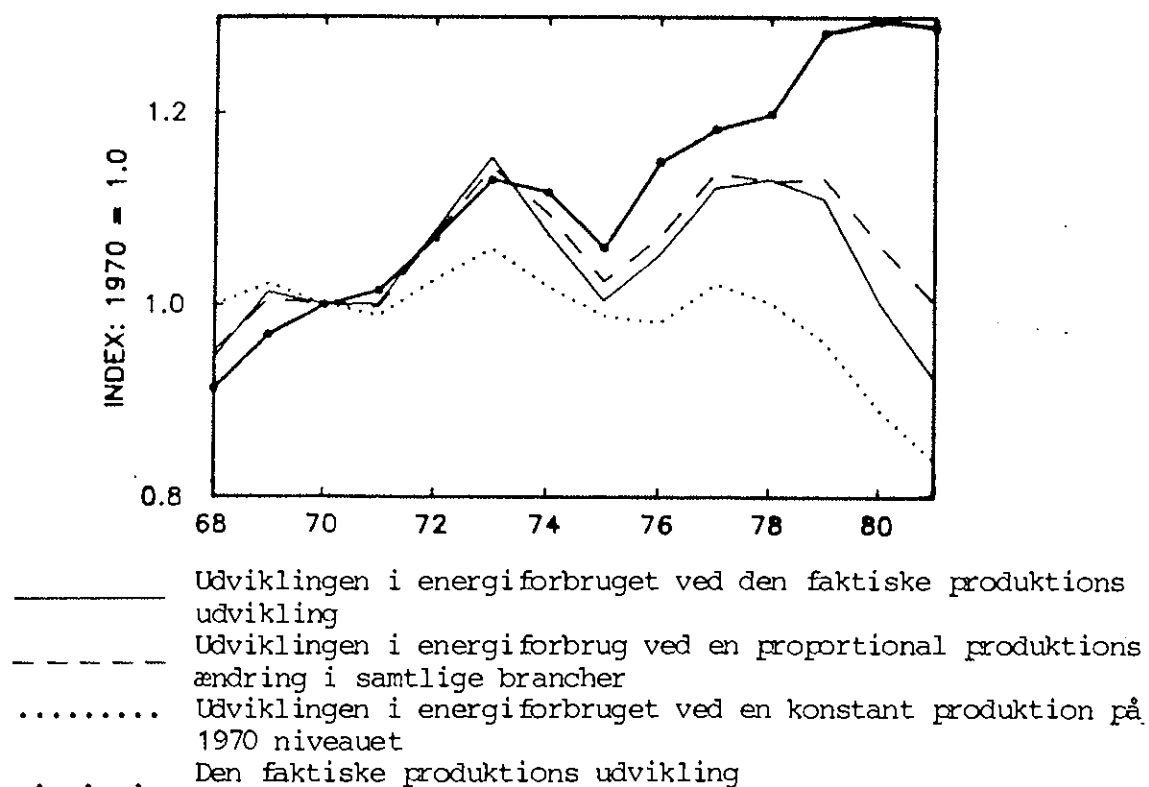
1. Produktionsudviklingen i de enkelte brancher følger den gennemsnitlige udvikling i industrien som helhed, d.v.s. det forudsættes, at der ikke er sket strukturændringer i perioden.
2. Produktionen er holdt konstant på 1970-niveauet.

De andre forklarende variable er i simuleringerne givet deres observerede værdier, d.v.s. de beregnede effekter er rene partielle effekter, hvor der f.eks. ikke er taget højde for, at der selvfølgelig er en sammenhæng imellem produktionen, beskæftigelsen og investeringerne i en branche.

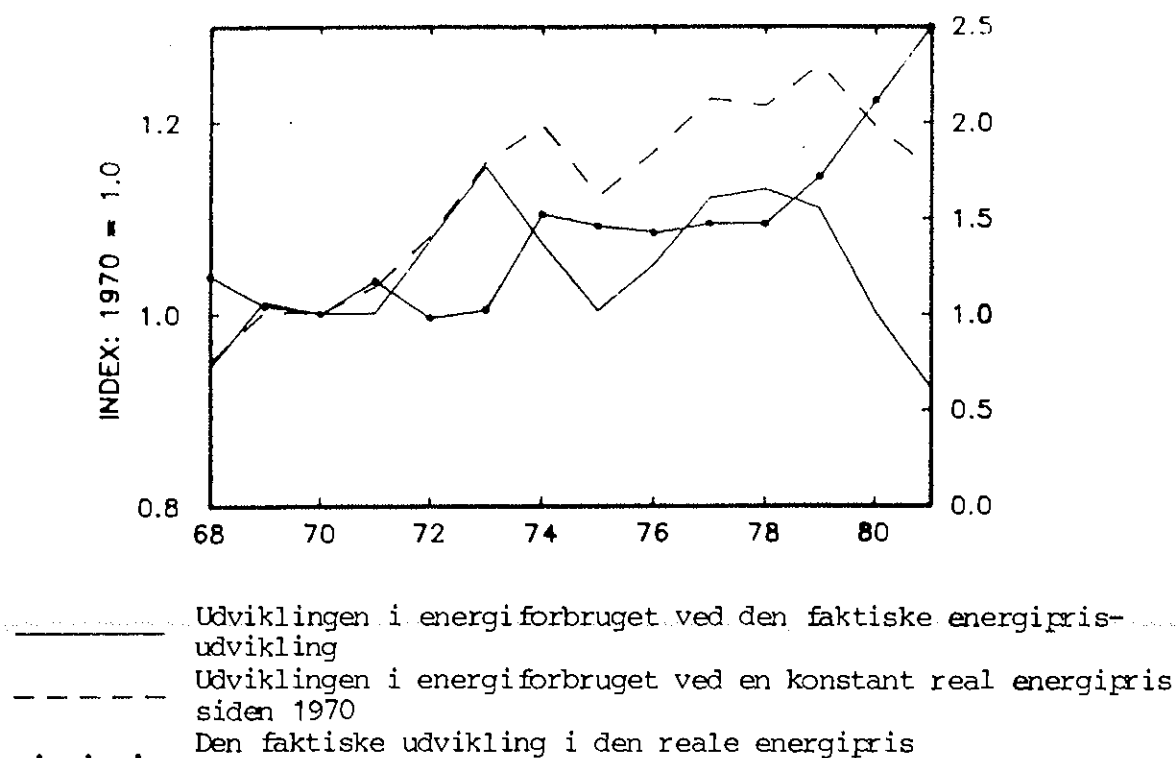
Resultaterne af grund-simuleringen og de 2 alternative simuleringer er vist i figur 5.8. Sammenlignes først grund-simuleringen og den proportionale produktionsudvikling i de enkelte brancher, h.h.v. den fuldt optrukne og den stiplede kurve, synes effekten af strukturændringer stort set at være uden betydning før 1978, hvorimod der efter 1978 er sket en betydelig lavere vækst i de energi-intensive brancher end i industrien som helhed. Havde produktionsstrukturen været uændret siden 1970, ville energiforbruget i 1981 have været ca. 8% højere.

Sammenlignes simulationsresultaterne for de 2 alternative produktionsantagelser, den proportionalt fordelte produktionsstigning og den konstante produktion h.h.v. den stiplede og den punkterede kurve, bemærkes at en jævnt fordelt produktionsstigning siden 1970 isoleret set har medført en forøgelse af energiforbruget med ca. 20%. Da produktionsniveauet over den samme periode er steget med ca. 28%, giver modellen en implicit produktionselasticitet på ca. 0.7.

Ser vi på effekten af ændrede energipriser, er grund-simuleringen i figur 5.9 sammenlignet med en simulering, hvor energiprisen er holdt konstant på 1970-niveauet, h.h.v. den fuldt optrukne og den stiplede kurve. Af disse simuleringer fremgår, at energiforbruget i 1981 ville have været ca. 25% højere, hvis den reale energipris havde været konstant. Da energiprisen over den samme periode er blevet ca. 2 1/2 gange så høj, giver modellen implicit en priselasticitet på ca. -0.2.



Figur 5.8. Effekter af alternative antagelser om produktionsudviklingen



Figur 5.9. Effekten af alternative antagelser om prisudviklingen

5.4. En fremskrivning af modellen

For at belyse modellens evne til at beskrive udviklingen i industriens energiforbrug udenfor estimationsperioden samt for at klarlægge modellens langsigtede egenskaber, skal i dette afsnit gennemgås en simulering over perioden 1980 til 2010. Frem til 1982 er anvendt observerede værdier for de forklarende variable, og modelresultaterne for 1981 og 82 er ved sammenligning med de faktiske energiforbrug anvendt til at analysere modellens evne til at forklare udviklingen udenfor estimationsperioden. Efter 1982 er simuleringen som et case-study baseret på en ADAM- og en energiprisfremskrivning. ADAM-fremskrivningen er karakteriseret ved en gennemsnitlig økonomisk vækst på 3.7% p.a. frem til år 2000 og derefter en vækst på 2.2% p.a. Frem til 1990 er fremskrivningen desuden karakteriseret ved en ikke ubetydelig strukturændring over mod mere energi-intensive brancher. Energiprisfremskrivningen er karakteriseret ved et s-kurveforløb med moderate stigninger frem til midten af 1990'erne, derefter betydelige stigninger og en svag udfladning mod slutningen af perioden. M.h.t. udviklingen for de enkelte typer indeholder fremskrivningen en næsten parallel udvikling for prisen på fast- og flydende brændsel, hvorimod el-prisen stiger mere moderat.

Ser vi først på, hvordan modellen er i stand til at forklare udviklingen frem til 1982, er i tabel 5.2. vist de beregnede og de observerede %-vise ændringer for de enkelte ADAM-brancher. Ser vi på resultaterne for industrien ialt, bemærkes at modellen undervurderer energiforbruget i begge år; fra 1980-81 overvurderes faldet med 1.7%, og fra 1981-82 undervurderes stigningen med 1.6%, hvilket betyder, at faldet fra 1980 overvurderes med 3.2%. Denne afvigelse er større end den gennemsnitlige men mindre end den maksimale afvigelse i estimationsperioden, d.v.s. modellen synes at give en ganske acceptabel beskrivelse af udviklingen fra 1980-82. Ser vi på resultaterne for de enkelte brancher, bemærkes at afvigelserne er koncentreret om "Næringsmiddelindustrien", "Nydelsesmiddelindustrien" og den "Kemiske industri". Tages i betragtning, at "Nydelsesmiddelindustrien" har gennemgået en del omlægninger, og iøvrigt energimæssigt ikke er særlig stor, synes afvigelserne for de enkelte brancher dog ikke alarmerende.

Tabel 5.2. Beregnede og observerede %-ændringer i energiforbruget

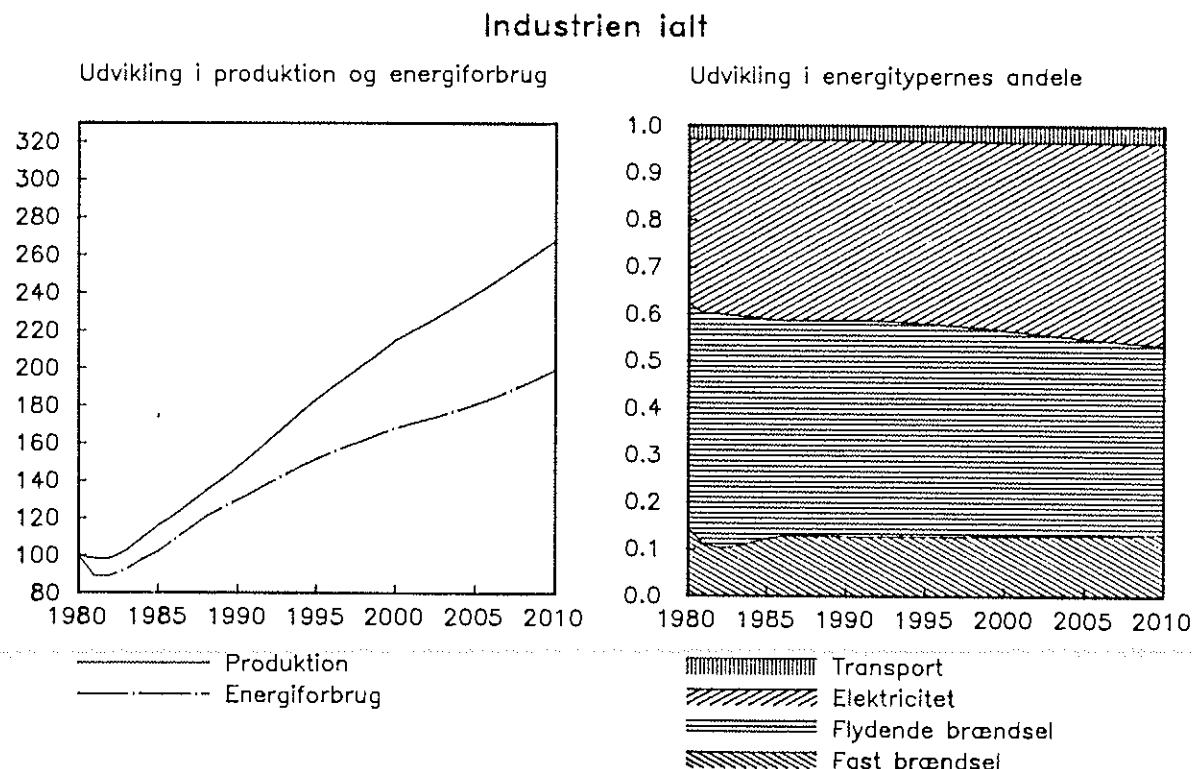
| | 1980-81 | | 1981-82 | | 1980-82 | |
|------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | observeret | beregnet | observeret | beregnet | observeret | beregnet |
| Næringsmiddel | -5.0 | -8.8 | 4.8 | 3.3 | -0.4 | -5.8 |
| Nydelsesmiddel | 0.1 | -2.4 | -2.3 | 5.7 | -2.1 | 3.1 |
| Lev. til byggeri | -21.8 | -18.8 | 6.7 | 0.0 | -16.6 | -18.8 |
| Jern- og metal | -6.9 | -13.2 | -3.0 | -0.7 | -9.6 | -13.8 |
| Kemisk | 3.8 | -0.9 | 0.0 | -0.6 | 3.8 | -1.5 |
| Anden fremst. | -10.5 | -8.0 | -2.3 | -3.7 | -12.5 | -11.3 |
| Industri ialt | -9.5 | -11.2 | 1.9 | 0.3 | -7.8 | -11.0 |

Ser vi på modellens mere langsigtede egenskaber, er i figur 5.10 vist udviklingen i industriens samlede energiforbrug og produktion samt energiforbrugets fordeling på de enkelte typer. Som det ses, forløber udviklingen i produktionen og energiforbruget næsten parallelt fra 1982 til begyndelsen af 1990'erne, hvorefter der sker en ganske betydelig afkobling imellem energiforbruget og produktionen. Når afkoblingen ikke slår igennem før, skyldes dette i al væsentlighed, at der frem til 1990'erne forudsættes moderate energiprisstigninger samt en vis strukturforskydning mod de mere energi-intensive brancher.

Som gennemsnit for industrien som helhed viser prognosen, at energiforbruget ca. fordobles, og produktionen vokser ca. 2.7 gange frem til år 2010, d.v.s. energiforbruget pr. produceret enhed falder med ca. 25%. Som det ses af figurerne for de enkelte brancher, er udviklingen for disse væsentligt forskellig. De største besparelser forventes i brancherne "Leverandører til byggeriet", "Jern- og metalindustrien" og "Anden fremstillingsvirksomhed", hvorimod der stort set ikke forventes nogen besparelser i "Næringsmiddelindustrien". At der ikke forventes besparelser i "Næringsmiddelindustrien", skyldes en kombination af moderate besparelser i de enkelte modelbrancher indenfor næringsmiddelindustrien samt en voksende produktionsandel for den energi-intensive modelbranche "Fiskemel- og foderstoffremstilling".

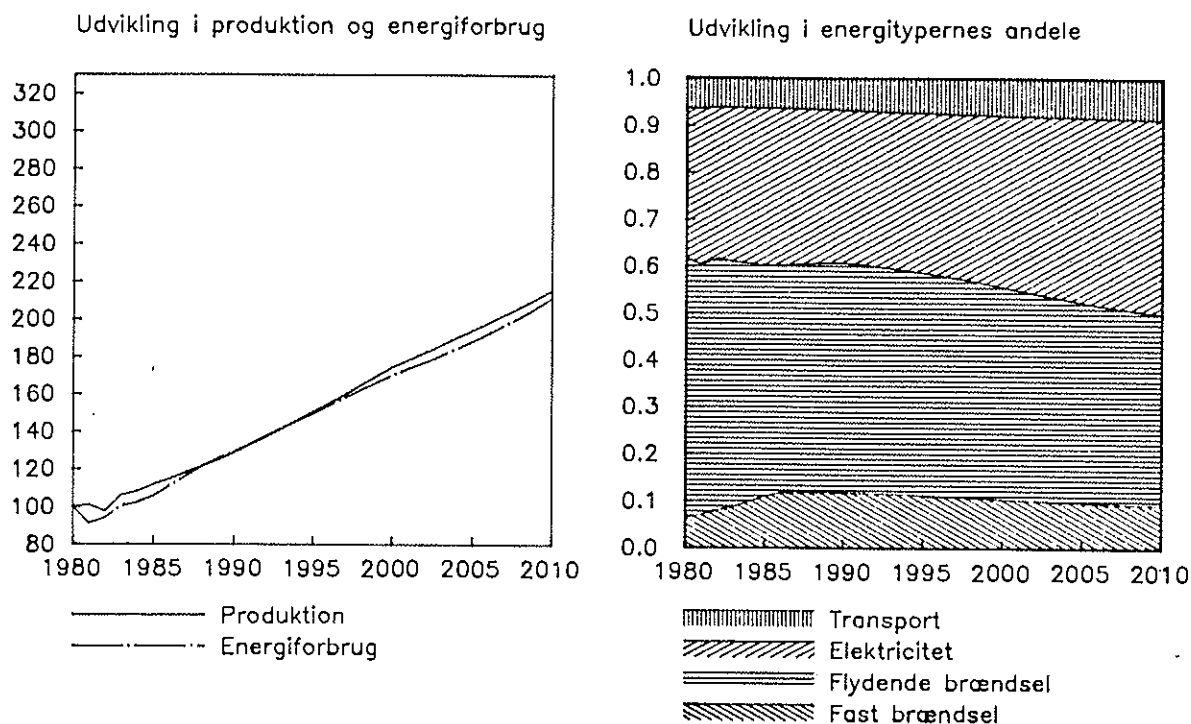
Ser vi på energiforbrugets sammensætning på typer, medfører de valgte forudsætninger en stort set konstant andel af fast brændsel samt en ganske betydelig substitution fra flydende brændsel til el. Årsagerne til denne substitution er dels en forudsætning om større prisstigninger på fast- og flydende brændsel end på el, og dels en trendmæssig udvikling i el-forbruget. Ser vi på udviklingen i de enkelte brancher, bemærkes en betydelig substitution til el i brancherne "Næringsmiddelindustrien" og "Kemisk industri" samt en voksende andel fast brændsel i "Leverandører til byggeriet".

Konkluderende må man sige, at modellen viser forskelle imellem de enkelte brancher, både m.h.t. effekter af den økonomiske udvikling og af energiprisudviklingen. Den samlede udvikling for industrien som helhed vil derfor i væsentlig grad afhænge af den økonomiske udvikling i de enkelte brancher, af strukturændringer samt af prisudviklingen på de enkelte energityper.



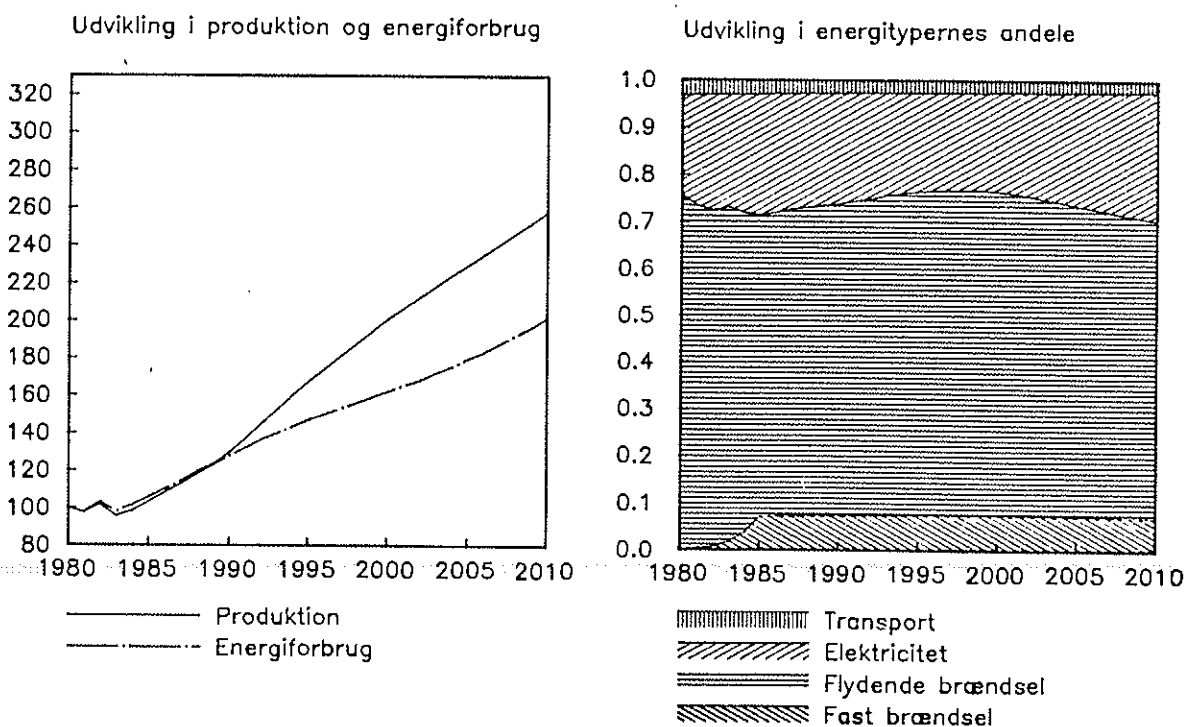
Figur 5.10. Udviklingen for industrien ialt. Index 1980 = 100 og andele

Næringsmiddelindustrien



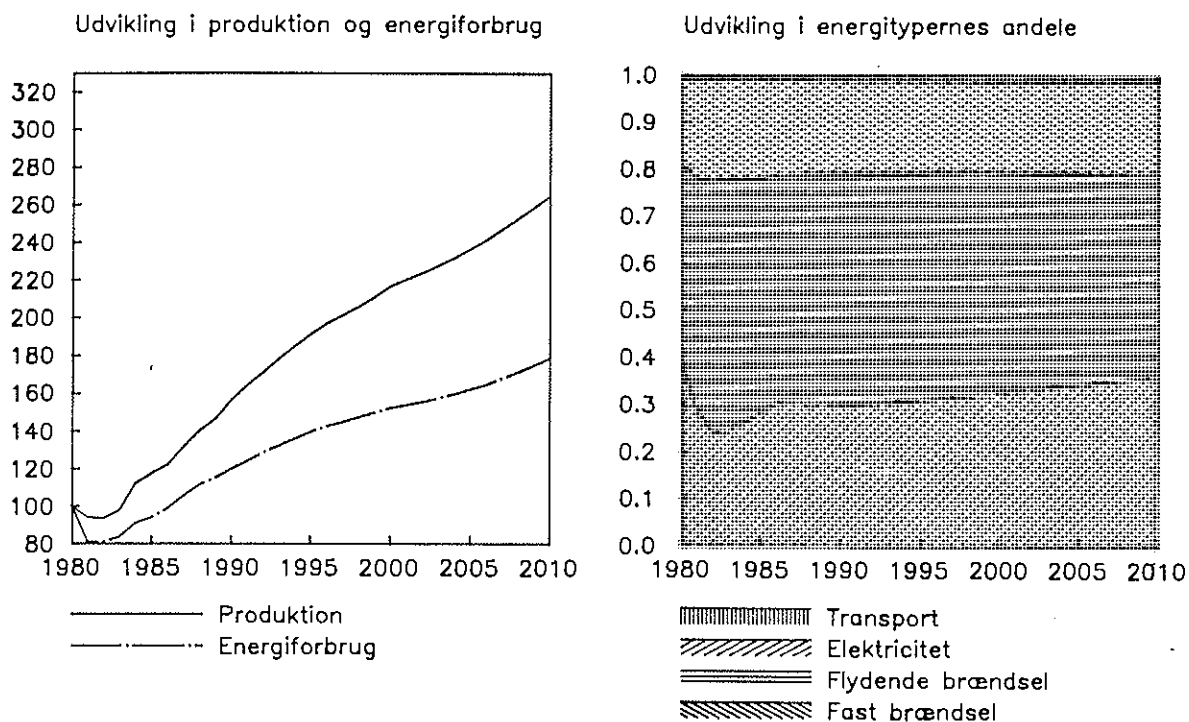
Figur 5.11. Udviklingen i "Næringsmiddelindustrien". Index 1980 = 100 og andele

Nydelsesmiddelindustrien



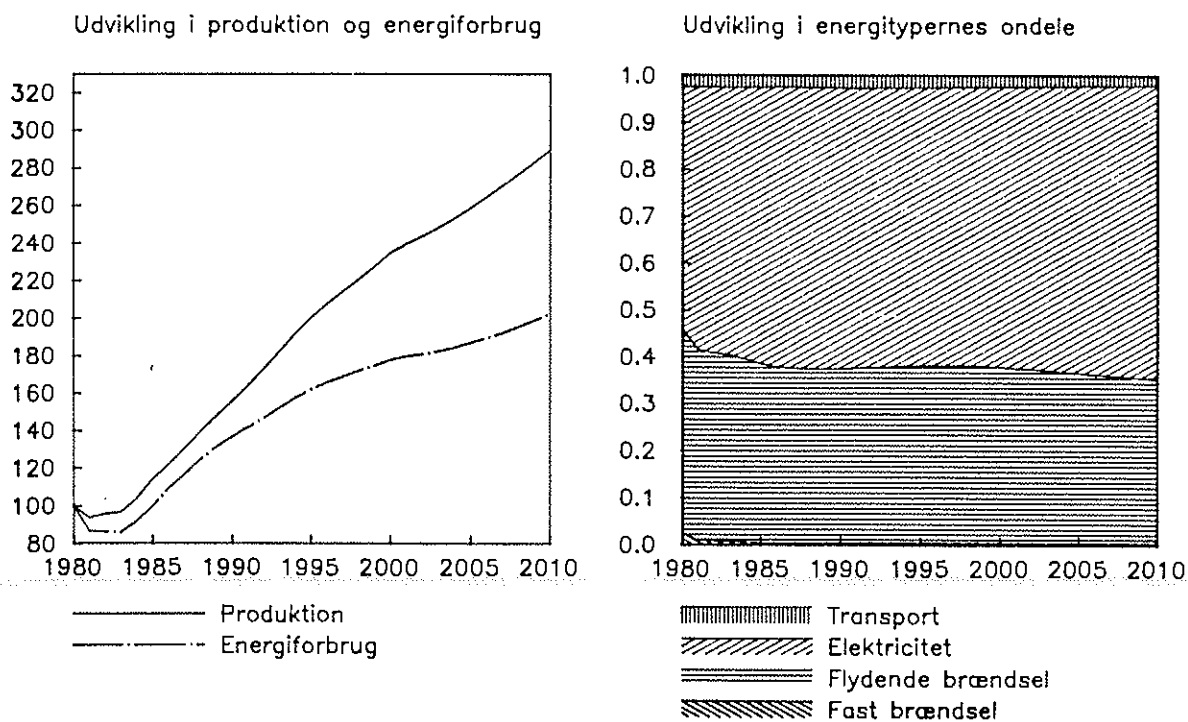
Figur 5.12. Udviklingen i "Nydelsesmiddelindustrien". Index 1980 = 100 og andele

Leverandører til byggeri



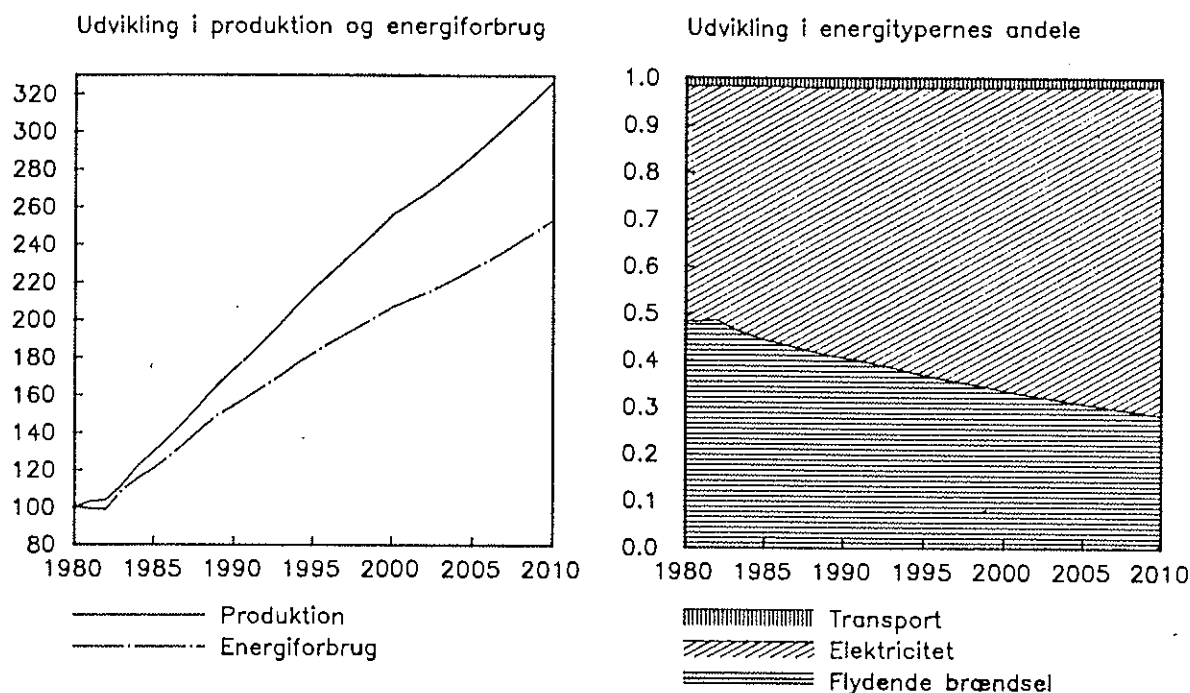
Figur 5.13. Udviklingen i "Leverandører til byggeriet". Index 1980 = 100 og andele

Jern- og metalindustrien



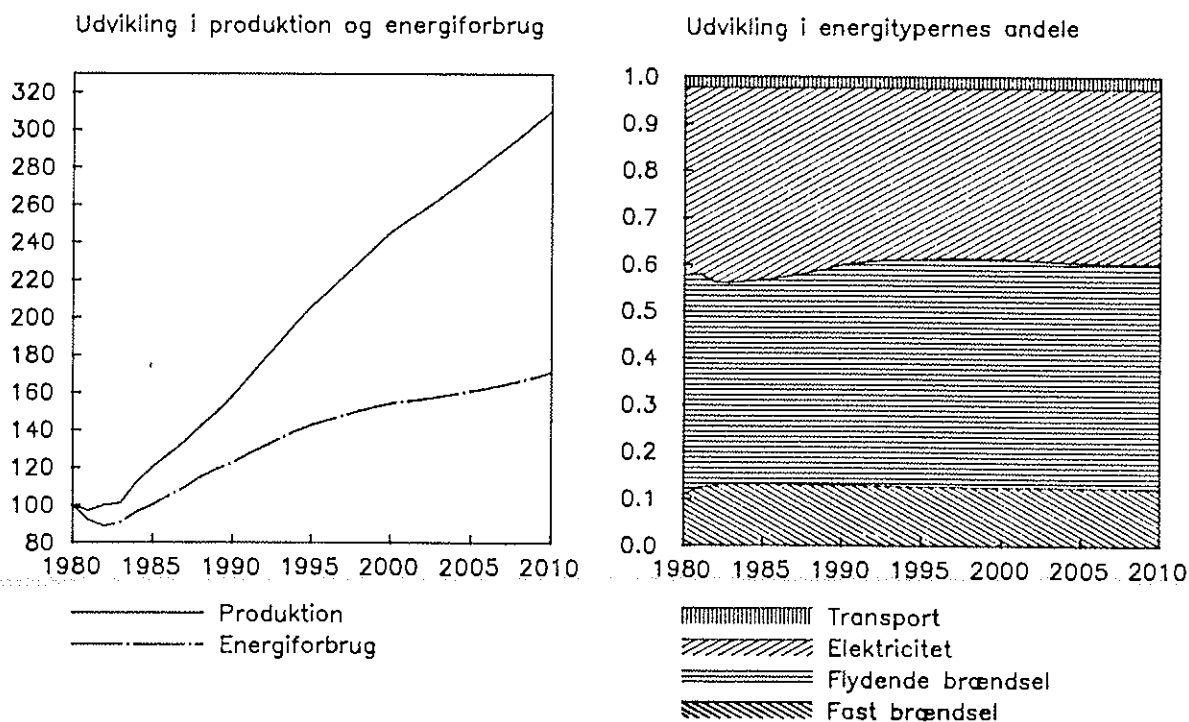
Figur 5.14. Udviklingen i "Jern- og metalindustrien". Index 1980 = 100 og andele

Kemisk industri



Figur 5.15. Udviklingen i "Kemisk industri". Index 1980 = 100 og andele

Anden fremstillingsvirksomhed



Figur 5.16. Udviklingen i "Anden fremstillingsvirksomhed". Index 1980 = 100 og andele

APPENDIX A

Filoversigt for industrimodellen

Beregninger af input til modellen

BATCH/BESK/BEREGN: Beregner beskæftigelsen, hvis forskellig fra
ADAM-prognose

input: TSP/INDUS/ADAMPROD; ADAM-produktionsprognose
TSP/INDUS/ADAM/PRODUKTIVITET; besk/output i ADAM-prognose
beregningsprogram:
TSP/INDUS/ADAMBESK/BEREGN
output: TSP/INDUS/ADAMBESK

(ADAMPROD og ADAMBESK findes i /central og /lav)

Simuleringsprogrammer:

BATCH/INDUS/1..13 (5C,5R): Beregner prognosen pr. branche

input: TSP/INDUS/ADAMPROD (findes i /central og /lav)
TSP/INDUS/ADAMBESK (findes i /central og /lav)
TSP/INDUS/ENERGIPRIS (findes i /central, /høj og /lav)
beregningsprogram:
TSP/INDUS/1..13(5C,5R)
output: TSP/INDUS/1..13/OUT
TSP/INDUS/1..13/PROG

Aggregeringsprogrammer:

BATCH/INDUS/AGRPROG: Beregner den aggregerede prognose

input: TSP/INDUS/1..13/PROG
beregningsprogram: TSP/INDUS/AGRPROG
output: TSP/INDUS/AGRPROG/OUT

| | | | | | | | |
|---|-----|---------------|----|----------------------|----|--|-----------------------------|
| Title and author(s) | | | | | | Date | July 1986 |
| A technical-economic model for the industrial energy consumption in Denmark (In Danish) Systems Analysis Department Energy Systems Group | | | | | | Department or group | Systems Analysis Department |
| | | | | | | Groups own registration number(s) | 4424347-85-0-024 |
| | | | | | | Project/contract no. | EM-2273-106 |
| Pages | 152 | Tables | 22 | Illustrations | 42 | References | 0 |
| | | | | | | ISBN | 87-550-1264-7 |
| Abstract (Max. 2000 char.) | | | | | | | |
| <p>This report presents a model for the industrial energy consumption in Denmark. In short the model may be characterized as an econometric sub-model that converts forecasts for the energy price and the economic development to forecasts for the industrial energy consumption. The industry is divided into 14 branches and four types of fuels. In constructing the model the development over the period 1966 to 1980 is analysed at a fairly disaggregated level of branches and the model is estimated on annual data for this period. To explain the development of the energy consumption both economic and technical factors are considered. The most important economic factors have been changes in the level of production, changes in the real energy price, in employment and investments. Important technical changes have been the introduction of new production techniques and the starting-up and closing-down of specific productions.</p> | | | | | | | |
| Descriptors | | | | | | | |
| CONSUMPTION RATES; DENMARK; ECONOMETRICS; ENERGY ANALYSIS; ENERGY CONSUMPTION; ENERGY MODELS; FORECASTING; INDUSTRY | | | | | | | |
| <p>Available on request from Rise Library, Rise National Laboratory, (Rise Bibliotek, Forskningscenter Rise), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark. Telephone 02 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116, Telefax: 02 36 06 09</p> | | | | | | | |